



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE SUELOS

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE**

**DISPONIBILIDAD Y CALIDAD FORRAJERA DE TRES ARBUSTOS DEL
SISTEMA SILVOPASTORIL TRADICIONAL EN LA RESERVA DE LA
BIÓSFERA TEHUACÁN-CUICATLÁN, MÉXICO**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE**



**DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES**

PRESENTA

Yunuen Socorro Rojas González.

Mayo del 2016

Chapingo, Texcoco, Edo. De México,



**DISPONIBILIDAD Y CALIDAD FORRAJERA DE TRES ARBUSTOS DEL
SISTEMA SILVOPASTORIL TRADICIONAL EN LA RESERVA DE LA
BIÓSFERA TEHUACÁN-CUICATLÁN, MÉXICO**

Tesis realizada por **Yunuen Socorro Rojas González**, bajo la dirección de
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE**

Director



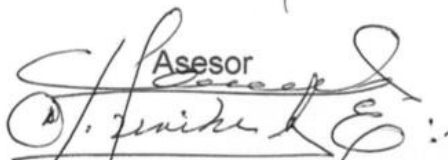
Alejandro Lara Bueno

Codirector



Jorge Luis Castrellón Montelongo

Asesor



Miguel Uribe Gómez

DEDICATORIAS

A Gloria Azucena González Flores, por incitarme en continuar mis estudios, seguirme preparando, ser mejor profesional y ser humano.

A Irma Leticia González Flores, Rosa Alicia González Flores, María Angélica González Flores por el apoyo de toda índole durante estos dos años.

Para Leticia Morales González, Yuriria Morales González y porque aun en la lejanía sé que siempre estuvieron apoyándome.

Blanca Yadira Flores González y Yared Yolotl Flores González como ejemplo de continuar estudiando ya que es nuestra única herencia la cual es invaluable.

A todos los compañeros de Maestría, en especial a Lourdes Suaste y Andrey Esquerro con los cuales compartimos muchas lindas experiencias.

AGRADECIMIENTOS

- ❖ Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado durante el periodo de la Maestría que hoy concluye satisfactoriamente.
- ❖ A la Universidad Autónoma Chapingo por acogerme nuevamente estos dos años y otorgarme todas las comodidades para mi desarrollo profesional.
- ❖ A mi director de tesis, Dr. Alejandro Lara Bueno por su gran apoyo, entusiasmo y entereza para trabajar y poder desarrollar dicha investigación.
- ❖ A mi Co-director de tesis, M.C. Jorge Luis Castrellón Montelongo por toda la serie de apoyos en todos los sentidos, ya que gracias a eso se concluye satisfactoriamente esta fase académica y profesional.
- ❖ A los miembros de mi comité asesor, Dr. Miguel Uribe Gómez y el Dr. José Luis Zaragoza Ramírez por su apoyo y aportaciones en el desarrollo de dicha investigación y documento final.
- ❖ A la Maestría en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible; a la Coordinadora Dra. María Edna Álvarez Sánchez por los consejos atinados y la colaboración de la Lic. Norma Lilia Martínez Ramírez para todo tipo de situaciones.
- ❖ Al departamento de Zootecnia por el acceso a los laboratorios y un agradecimiento a los laboratoristas Ing. Fabián Aguilera Hernández y al Técnico José Luis Bravo Hernández por gran paciencia y cooperación.
- ❖ Agradecimiento especial a la comunidad de Santa Ana Teloxtoc, Puebla y a la familia Pacheco por las facilidades para realizar la investigación la cual pretende favorecer a los caprinocultores de la región.

DATOS BIOGRÁFICOS

Yunuen Socorro Rojas González, Poblana, nació el dos de mayo de 1988 en Puebla, Puebla, México la primera de dos hijas. El padre Poblano Ing. Rogelio Rojas Martínez y la madre originaria del Distrito Federal, México Gloria Azucena González Flores.

Los estudios de primaria los terminó en la Escuela Primaria “Patria” en el año 2000, la educación secundaria la curso en el Internado-Secundaria Técnica Número 1 “Lázaro Cárdenas de Río” concluyendo en 2003, ambas ubicadas en Cuernavaca, Morelos, México. Se graduó del Bachillerato en el centro educativo “Octavio Paz” en el 2006 ubicado en Puebla, Pue.

En el año 2008 ingresó a la Universidad Autónoma Chapingo en el Departamento de Zootecnia, donde participó activamente en la organización del congreso de la Asociación Mexicana de producción Animal (AMPA) en el 2011, además de organizar y participar en giras estudiantiles al Sureste Mexicano y a la Universidad de Costa Rica. Su examen profesional lo presentó en diciembre del 2013 con la tesis “Producción y calidad de semilla de Quiebramachete (*Mimosa leucaenoides*) en la Sierra Gorda de Querétaro, México, con el cual obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo especialista en Zootecnia.

En ese mismo año trabajó en la Agencia de Desarrollo Rural “Inside Asesores” donde colaboró en la formulación y ejecución de proyectos adscritos a la

Comisión Nacional de Zonas Áridas (CONAZA) para realizar obras de conservación de suelo y agua, revegetación ecológica de zonas áridas, capacitación a productores de caprinos, entre otros.

En 2013 ingresó a la Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible en la Universidad Autónoma Chapingo, México, donde participó como ponente en tres congresos (Chapingo, México; Ibagué, Colombia y Puerto Varas, Chile) y realizó una estancia de investigación en Ibagué, Colombia. Posteriormente con el presente trabajo de tesis, se graduó en marzo del 2016 obteniendo el grado de Maestro en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible.

DISPONIBILIDAD Y CALIDAD FORRAJERA DE TRES ARBUSTOS DEL SISTEMA SILVOPASTORIL TRADICIONAL EN LA RESERVA DE LA BIÓSFERA TEHUACÁN-CUICATLÁN, MÉXICO

Yunuen Socorro Rojas González¹, Alejandro Lara Bueno², Jorge Luis Castrellón Montelongo³, Miguel Uribe Gómez³

RESUMEN

En las regiones semiáridas de México se práctica el sistema silvopastoril tradicional con aprovechamiento de árboles, arbustos y herbáceas en la alimentación de cabras. El propósito del presente estudio fue determinar la disponibilidad y calidad del follaje de *Acacia subangulata*, *Lippia graveolens* y *Mascagnia parviflora*, arbustos útiles en el diseño de sistemas agroforestales. En un área representativa de la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, se seleccionaron 50 individuos de cada especie arbustiva y se cuantificó la producción de materia seca ($MS\ ha^{-1}$), altura de la planta (A, cm), número de tallos (N), diámetro de copa (D, cm) y densidad de plantas por ha. El diseño experimental fue bloques al azar con arreglo factorial 3 x 5: tres especies y cinco tratamientos de frecuencia de corte (FC) e intensidad de defoliación (ID). Los tratamientos fueron: T1 (FC=45 ID=50%); T2 (FC=45 ID=100%); T3 (FC=60 ID=50%); T4 (FC=60 ID=100%); y T5 (FC=150 ID=100%). Los arbustos asignados a los tratamientos 1 al 4 fueron muestreados dos veces: 45 y 90 (T1 y T2) y 60 y 120 (T3 y T4) días de iniciado el experimento. Cada tratamiento tuvo diez repeticiones donde cada arbusto constituyó la unidad experimental. Para estimar la producción y calidad del forraje, se colectaron hojas y tallos tiernos a una altura máxima de 1.80 m. Las variables de calidad del forraje fueron proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE) y fibra detergente neutra (FDN). El análisis de los datos consideró como factores principales los efectos de la especie arbórea (SA), FC y ID. Se realizó un análisis multivariado

correlacionando la producción de MS con A, N y D y se generaron ecuaciones de predicción de biomasa forrajera (Y). Hubo diferencias ($p < 0.05$) en la densidad de plantas y producción de forraje de *A. subangulata*, *L. graveolens* y *M. parviflora* (110^a , 15778^b , 2778^c kg ha⁻¹); (115.5^a ; 612.2^b ; 68.6^c kg ha⁻¹) respectivamente, observándose mayor rendimiento de forraje en *L. graveolens*. La máxima producción para *L. graveolens* ($560+132.5$ kg ha⁻¹) y *M. parviflora* ($192.8+58.7$ kg ha⁻¹) fue en T2; mientras que *A. subangulata* tuvo máxima producción en T5 ($210+112.6$ kg ha⁻¹). Los porcentajes de PC (16.55^a , 13.39^b , 13.56^b), EE (2.52^a , 2.85^a , 1.26^b) y FDN (44.74^a , 41.94^b , 48.87^c) fueron diferentes ($p < 0.0001$) entre *A. subangulata*, *L. graveolens* y *M. parviflora*, respectivamente. Las ecuaciones de predicción de la biomasa forrajera fueron $Y = -33.74 + 0.008(A \cdot N \cdot D)$ ($R^2 = 0.87$) para *A. subangulata*; $Y = -15.31 + (0.6097 \cdot D)$ ($R^2 = 0.63$) para *L. graveolens* y $Y = -36.05 + (1.21 \cdot D)$ ($R^2 = 0.63$) para *M. parviflora*. Se concluye que las tres especies arbustivas cubren los requerimientos de proteína de las cabras y el contenido de paredes celulares es moderadamente bajo. Es posible predecir la producción de forraje a partir de A, N y D mediante las ecuaciones correspondientes con una confiabilidad moderadamente alta.

Palabras clave: Biomasa forrajera, frecuencia de corte, intensidad de defoliación, ecuaciones de predicción, cabras

¹Tesista ²Director de tesis ³Asesor de tesis

**AVAILABILITY AND QUALITY OF THE FODDER OF THREE SHRUBS OF
THE TRADITIONAL SILVOPASTURE SYSTEM IN THE TEHUACÁN-
CUICATLÁN BIOSPHERE RESERVE IN MEXICO**

Yunuen Socorro Rojas González¹, Alejandro Lara Bueno², Jorge Luis Castrellón
Montelongo³, Miguel Uribe Gómez³

ABSTRACT

In the semiarid regions of Mexico, the extensive silvopasture system is practiced, making extensive use of trees, shrubs, and herbaceous plants to feed goats. The purpose of the present study was to determine the availability and quality of foliage of *Acacia subangulata*, *Lippia graveolens* and *Mascagnia parviflora*, useful shrubs in the design of agroforestry systems. In a representative area of the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve, 50 individuals from each shrub species were selected and the amount of dry matter (DM ha⁻¹), plant height (PH, cm), number of stems (N), crown diameter (D, cm²) and density of plants per ha were quantified. The experimental design was randomized blocks with a 3 x 5 factorial design: three species and five frequencies of cut (FC) and defoliation intensities (DI) treatments. The treatments were: T1 (FC=45, DI=50%); T2 (FC=45, DI=100%); T3 (FC=60, DI=50%); T4 (FC=60, DI=100%); and T5 (FC=150, DI=100%). The shrubs assigned to treatments 1 to 4 were sampled twice: 45 and 90 (T1 and T2) and 60 and 120 (T3 and T4) days starting from the first day of the experiment. Each treatment was replicated ten times where each shrub constituted the experimental unit. To estimate the production and quality of the fodder, leaves and saplings with a maximum height of 1.80 m were collected. The variables of the quality of the fodder were crude protein (CP), ether extract (EE) and neutral detergent fiber (NDF). The data analysis considered as main factors the effects of shrub species (SS), FC and DI. A multivariate analysis was performed

correlating the production of DM with PH, N, and D and fodder biomass prediction equations were generated (Y). There were differences ($p < 0.05$) in the density of plants and fodder production of *A. subangulata*, *L. graveolens* and *M. parviflora* (110^a , 15778^b , 2778^c); (115.5^a ; 612.2^b ; 68.6^c kg ha⁻¹) respectively, noting higher fodder yield in *L. graveolens*. The maximum production for *L. graveolens* (560 ± 132.5 kg ha⁻¹) and *M. parviflora* (192.8 ± 58.7 kg ha⁻¹) was in T2, while *A. subangulata* had maximum production in T5 (210 ± 112.6 kg ha⁻¹). The percentages of CP (16.55^a , 13.39^b , 13.56^b), EE (2.52^a , 2.85^a , 1.26^b), and NDF (44.74^a , 41.94^b , 48.87^c) were different ($p < 0.0001$) between *A. subangulata*, *L. graveolens* and *M. parviflora*, respectively. The equations to predict the fodder biomass were $Y = -33.74 + 0.008*(PH*N*D)$ ($R^2 = 0.87$) for *A. subangulata*; $Y = -15.31 + (0.6097*D)$ ($R^2 = 0.63$) for *L. graveolens*, and $Y = -36.05 + (1.21*D)$ ($R^2 = 0.63$) for *M. parviflora*. It is concluded that the three shrubs cover the requirements of protein for goats and the contents of cell walls is moderately low. It is possible to predict the production of fodder from PH, N, and D through the corresponding equations with a moderately high reliability.

Keywords: Fodder biomass, frequency of cut, defoliation intensity, prediction equations, goats.

¹Thesis student ²Thesis director ³Thesis Assessor

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos particulares	3
3. HIPÓTESIS.....	4
4. MARCO TEÓRICO	5
4.1 Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán	5
4.1.1 Localización y límites	5
4.1.2 Geología	5
4.1.3 Fisiografía	6
4.1.4 Edafología.....	6
4.1.5 Hidrología	6
4.1.6 Climatología.....	7
4.1.7 Características biológicas	8
4.1.8 Vegetación.....	9
4.2 Sistemas silvopastoriles	10
4.2.1 Ventajas y desventajas de los sistemas silvopastoriles	12
4.2.2 Sistema silvopastoril de zonas áridas	13
4.2.3 Deterioro del Sistema Silvopastoril	15
4.2.4 Árboles y arbustos de uso forrajero	17
4.2.5 Producción de forraje de árboles y arbustos.....	18
4.2.6 Estacionalidad de la producción forrajera	19
4.2.7 La poda en arbustos forrajeros	20
4.2.8 Valor nutritivo del forraje	21
4.2.9 Compuestos anti-nutricionales.....	21

4.3 Árboles y arbustos nativos de importancia forrajera.....	22
4.3.1 Sierrecilla (<i>Acacia subangulata</i>)	22
4.3.2 Orégano (<i>Lippia graveolens</i>)	25
4.3.3 Palo canizo (<i>Mascagnia parviflora</i>)	28
4.4 Caprinocultura en las zonas áridas	29
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
5.1 Área de estudio	31
5.2 Selección de especies.....	33
5.3 Producción de forraje	34
5.4 Frecuencia de corte e intensidad de defoliación	36
5.5 Densidad de plantas.....	37
5.6 Características morfológicas	38
5.7 Evaluación nutrimental del forraje	38
5.8 Diseño experimental y análisis de datos	41
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
6.1 Densidad de plantas y producción de forraje total.....	43
6.2 Producción de materia por frecuencia de corte e intensidad de defoliación	45
6.3 Características morfológicas de los arbustos	50
6.4 Correlación de producción forrajera con características morfológicas	52
6.5 Ecuaciones de predicción de biomasa forrajera.....	56
6.6 Evaluación nutrimental del forraje	57
6.6.1 Composición química.....	57
6.6.2 Materia orgánica y cenizas	58
6.6.3 Extracto etéreo	61
6.6.4 Proteína cruda	63
6.6.5 Fibra detergente neutra y ácida	65
6.6.6 Lignina	68

6.6.7 Hemicelulosa y celulosa	70
6.6.8 Calidad nutrimental de forraje residual de sierrecilla	74
6.6.9 Calidad nutrimental de la vaina de sierrecilla.....	75
7. CONCLUSIONES	78
8. RECOMENDACIONES	80
9. BIBLIOGRAFÍA.....	81

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos de frecuencia de corte e intensidad defoliación para los tres arbustos forrajeros en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.....	37
Cuadro 2. Nivel de significancia de los efectos principales sobre las variables analizadas para sierrecilla (<i>A. subangulata</i>), orégano (<i>L. graveolens</i>) y palo canizo (<i>M. parviflora</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.....	43
Cuadro 3. Densidad de plantas y producción de materia seca para sierrecilla (<i>A. subangulata</i>), orégano (<i>L. graveolens</i>) y palo canizo (<i>M. parviflora</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.....	44
Cuadro 4. Promedio de producción de materia seca (g planta ⁻¹) en los tratamientos para sierrecilla (<i>A. subangulata</i>), orégano (<i>L. graveolens</i>) y palo canizo (<i>M. parviflora</i>), en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.....	46
Cuadro 5. Características morfológicas de la sierrecilla (<i>A. subangulata</i>), orégano (<i>L. graveolens</i>) y palo canizo (<i>M. parviflora</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.	51
Cuadro 6. Ecuaciones de predicción de materia seca para sierrecilla (<i>A. subangulata</i>), orégano (<i>L. graveolens</i>) y palo canizo (<i>M. parviflora</i>) considerando la altura de la planta, diámetro de copa y número de tallos, en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.	56

Cuadro 7. Composición química (%) de la biomasa forrajera de <i>A. subangulata</i> , <i>L. graveolens</i> y <i>M. parviflora</i> en la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla. México.....	57
Cuadro 8. Contenido de materia orgánica y edad de la biomasa forrajera de sierrecilla (<i>A. subangulata</i>), orégano (<i>L. graveolens</i>) y palo canizo (<i>M. parviflora</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.	58
Cuadro 9. Contenido de cenizas de la biomasa forrajera de sierrecilla (<i>A. subangulata</i>), orégano (<i>L. graveolens</i>) y palo canizo (<i>M. parviflora</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.	60
Cuadro 10. Contenido de extracto etéreo de la biomasa forrajera de sierrecilla (<i>A. subangulata</i>), orégano (<i>L. graveolens</i>) y palo canizo (<i>M. parviflora</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.	61
Cuadro 11. Contenido de proteína cruda (%) de la biomasa forrajera de sierrecilla (<i>A. subangulata</i>), orégano (<i>L. graveolens</i>) y palo canizo (<i>M. parviflora</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.	63
Cuadro 12. Contenido de fibra detergente neutro (FDN,%) de la biomasa forrajera de sierrecilla (<i>A. subangulata</i>), orégano (<i>L. graveolens</i>) y palo canizo (<i>M. parviflora</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.	65
Cuadro 13. Contenido de fibra detergente ácido (FDA) de la biomasa forrajera de sierrecilla, (<i>A. subangulata</i>), orégano (<i>L. graveolens</i>) y palo canizo (<i>M. parviflora</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.	67
Cuadro 14. Contenido de lignina (%) de la biomasa forrajera de sierrecilla, (<i>A. subangulata</i>), orégano (<i>L. graveolens</i>) y palo canizo (<i>M. parviflora</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.	69
Cuadro 15. Contenido de hemicelulosa (%) de la biomasa forrajera de sierrecilla (<i>A. subangulata</i>), orégano (<i>L. graveolens</i>) y palo canizo (<i>M. parviflora</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.	70
Cuadro 16. Contenido de celulosa (%) de la biomasa forrajera de sierrecilla (<i>A. subangulata</i>), orégano (<i>L. graveolens</i>) y palo canizo (<i>M. parviflora</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.	72

Cuadro 17. Composición química (% de la MS) de la biomasa forrajera tierna (V1) y madura (V2) de la sierrecilla (<i>A. subangulata</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.	75
Cuadro 18. Composición química (% de la MS) de las vainas de sierrecilla (<i>A. subangulata</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Panorama fisiográfico de la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.....	9
Figura 2. Sistema silvopastoril tradicional con ganado caprino en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.....	13
Figura 3. <i>Acacia subangulata</i> (detalle de hojas, ramas y flores).....	23
Figura 4. <i>Lippia graveolens</i> (hojas y flores).	27
Figura 5. <i>Mascagnia parviflora</i>	28
Figura 6. Curvas de temperatura y precipitación en Tehuacán, Puebla (SMN, 2010).	32
Figura 7. Cosecha y determinación de materia seca.	35
Figura 8. Producción de materia seca-promedio por tratamiento para sierrecilla (<i>A. subangulata</i>); en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.	47
Figura 9. Producción de materia seca promedio por tratamiento para (<i>L. graveolens</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.	49
Figura 10. Producción de materia seca por tratamiento para palo canizo (<i>M. parviflora</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.....	50
Figura 11. Morfología de <i>M. parviflora</i> , <i>A. subangulata</i> y <i>L. graveolens</i> (izquierda a derecha) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.	52
Figura 12. Correlación entre producción de materia seca y altura de la planta para Sierrecilla (<i>A. subangulata</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.	53

Figura 13. Correlación entre producción de materia seca y diámetro de copa para Sierrecilla (<i>A. subangulata</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.	53
Figura 14. Correlación entre producción de materia seca y altura de la planta para Orégano (<i>L. graveolens</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.	54
Figura 15. Correlación entre producción de materia seca y diámetro de copa para Orégano (<i>L. graveolens</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.	54
Figura 16. Correlación entre producción de materia seca y altura de la planta para Palo canizo (<i>M. parviflora</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.	55
Figura 17. Correlación entre producción de materia seca y diámetro de copa para Palo canizo (<i>M. parviflora</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.	55
Figura 18. Contenido de materia orgánica y edad de la biomasa forrajera de sierrecilla (<i>A. subangulata</i>), orégano (<i>L. graveolens</i>) y palo canizo (<i>M. parviflora</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, México.	59
Figura 19. Porcentaje de cenizas de la biomasa forrajera de sierrecilla (<i>A. subangulata</i>), orégano (<i>L. graveolens</i>) y palo canizo (<i>M. parviflora</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, México.	60
Figura 20. Porcentaje de extracto etéreo de la biomasa forrajera de sierrecilla (<i>A. subangulata</i>), orégano (<i>L. graveolens</i>) y palo canizo (<i>M. parviflora</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, México.	62
Figura 21. Porcentaje de proteína cruda de la biomasa forrajera de sierrecilla (<i>A. subangulata</i>), orégano (<i>L. graveolens</i>) y palo canizo (<i>M. parviflora</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, México.	64
Figura 22. Porcentaje de fibra detergente neutro (FDN) de la biomasa forrajera de sierrecilla (<i>A. subangulata</i>), orégano (<i>L. graveolens</i>) y palo canizo (<i>M. parviflora</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, México.	66
Figura 23. Porcentaje fibra detergente ácido (FDA) en la biomasa forrajera de sierrecilla (<i>A. subangulata</i>), orégano (<i>L. graveolens</i>) y palo canizo (<i>M. parviflora</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, México.	68

Figura 24. Porcentaje de lignina de la biomasa forrajera de sierrecilla (<i>A. subangulata</i>), orégano (<i>L. graveolens</i>) y palo canizo (<i>M. parviflora</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, México.	69
Figura 25. Porcentaje de hemicelulosa de biomasa forrajera de sierrecilla (<i>A. subangulata</i>), orégano (<i>L. graveolens</i>) y palo canizo (<i>M. parviflora</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, México.	71
Figura 26. Porcentaje de celulosa de la biomasa forrajera de sierrecilla (<i>A. subangulata</i>), orégano (<i>L. graveolens</i>) y palo canizo (<i>M. parviflora</i>) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, México.	73

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas silvopastoriles de zonas áridas son un tipo de ecosistema productivo que provee principalmente alimento para el ganado y que deriva en fuente de ingresos para los campesinos que habitan diversas regiones de México. Además de la importancia productiva de los sistemas silvopastoriles, las zonas áridas y semiáridas del país contienen una diversidad de especies vegetales y animales de las cuales muchas son endémicas, lo que incrementa la importancia del estudio de estas áreas para poder obtener productos del matorral xerófilo, como leña, frutos, fibras, vegetales y carne a través del pastoreo del ganado sin poner en riesgo plantas y animales amenazados o en peligro de extinción.

La Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán comprende parte de la provincia florística del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, localizada al sureste de Puebla y noroeste de Oaxaca. Esta región se caracteriza por su riqueza biológica y cultural donde por más de 10 mil años se han establecido comunidades de al menos ocho pueblos indígenas, con conocimiento importante sobre la flora nativa y sus distintos usos (CONANP, 2013). La baja precipitación y alta evapotranspiración de la región propicia el desarrollo de un tipo de vegetación denominado matorral xerófilo, donde se desarrollan los sistemas de producción caprina en pastoreo extensivo, debido a la adaptabilidad que tiene este ganado a las condiciones áridas y semiáridas, así como por sus hábitos alimenticios, ya que de manera natural los caprinos en pastoreo cubren sus requerimientos

nutrimentales consumiendo herbáceas, , zacates, cactáceas, arbustos y árboles forrajeros (Armenta-Quintana, 2004; Avalos, 2004) seleccionando hojas, rebrotes tiernos, flores, vainas y corteza. La degradación de los recursos naturales en el matorral xerófilo del sur del estado de Puebla es resultado del manejo deficiente de los sistemas de producción agrícola, forestal y principalmente del sistema de producción pecuario. El sistema silvopastoril de Tehuacán-Cuicatlán presenta un estado de deterioro severo, caracterizado por la pérdida de cobertura vegetal, en particular de las especies forrajeras; además, se observan signos evidentes de erosión del suelo, lo que ha provocado la disminución de la productividad de las especies vegetales y consecuentemente la reducción de la capacidad de carga animal. Existen estudios en la región donde se han identificado las plantas consumidas y de mayor preferencia por el ganado caprino, pero hace falta complementar la información haciendo caracterización morfológica, estimación forrajera, análisis bromatológico y formas de propagación de los árboles y arbustos forrajeros, ya que son éstos los que tienen mayor presión de pastoreo por el ganado (Reséndiz-Melgar *et al.*, 2005). Se considera de suma importancia estudiar la fenología de los arbustos forrajeros de mayor importancia en la ganadería caprina, ya que esta información permite comprender la relación que tienen las plantas con la productividad y los mecanismos del crecimiento, rendimiento e interacción con el ecosistema. Por lo anterior, la presente investigación tuvo como finalidad obtener datos que nos ayuden a proponer métodos de pastoreo sustentables para el sistema silvopastoril de matorral xerófilo en la región de Tehuacán-Cuicatlán

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Proponer prácticas de manejo sustentable de la vegetación nativa de matorral xerófilo con el estudio de la respuesta fisiológica que presentan los arbustos ante la defoliación para diseñar sistemas de aprovechamiento ganadero del sistema silvopastoril de la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.

2.2 Objetivos particulares

- Describir las características morfológicas de tres arbustos de importancia forrajera por medio de la medición directa de altura, diámetro de copa y número de ramas secundarias para desarrollar ecuaciones de predicción de biomasa forrajera.
- Estudiar la fenología de tres especies arbustivas por medio de indicadores de tasa de producción de forraje y tasa de rebrote con la defoliación a cuatro frecuencias y dos intensidades, para conocer su respuesta y adaptación al ramoneo por los caprinos.
- Evaluar la calidad nutritiva del forraje cosechado en cinco fechas de corte, realizando un análisis bromatológico para conocer sus características nutricionales y proponer la defoliación de los arbustos en la mejor etapa de aporte de nutrientes para el ganado.

3. HIPÓTESIS

- Conociendo las características morfológicas y la producción forrajera de los arbustos se pueden proponer ecuaciones de producción de biomasa forrajera.
- El deterioro del sistema silvopastoril de zonas áridas es consecuencia del pastoreo inadecuado, que es provocado por la defoliación en estadios vulnerables de las plantas de mayor importancia forrajera para el ganado caprino.
- Es viable incrementar la producción y calidad de forraje del sistema silvopastoril consumido por el ganado caprino conociendo la fenología de los arbustos y sus características nutrimentales en cada etapa de crecimiento.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán

4.1.1 Localización y límites

La Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán (RBTC) comprende parte del sureste del estado de Puebla y noroeste del estado de Oaxaca, se ubica entre las coordenadas geográficas 18°52'36" y 97°41'31" en el extremo Norte, municipio de Tecamachalco, Puebla; los 17° 32' 33" y 96° 43' 14" en el extremo Sur, municipio de San Juan Bautista Atatlahuca, Oaxaca; los 17° 38' 57" y 96° 41'31" en el extremo Este, municipio de San Juan Bautista Atatlahuca, Oaxaca y los 18° 13' 02" y 97° 48' 35" en el extremo Oeste, municipio de Santiago Chazumba, Oaxaca. El Área natural protegida tiene una longitud de Norte a Sur de 179.68 kilómetros y de Este a Oeste de 48.35 kilómetros en la porción más ancha. De acuerdo con la declaratoria de la RBTC, el polígono general comprende el territorio parcial o total de 20 y 31 municipios correspondientes a los estados de Puebla y Oaxaca, respectivamente, con una superficie total de 490,186 hectáreas (CONANP, 2013).

4.1.2 Geología

En el territorio que comprende la RBTC se presenta 85.6 por ciento de basamento rocoso de tipo sedimentario que se originó desde el Cretácico Inferior hasta el Terciario Inferior. Los suelos sedimentarios tienen un origen marino abarcando una superficie aproximada de 194,892 y proceden de rocas

calizas, vulcano-sedimentarias, lutitas, areniscas y conglomerados (CONANP, 2013).

4.1.3 Fisiografía

Según la carta fisiográfica de INEGI (1984), la RBTC está conformada por dos provincias fisiográficas: la Sierra Madre del Sur, que comprende el 92.65% de la superficie total de la reserva, y el Eje Neovolcánico Transversal, que ocupa 7.35%.

4.1.4 Edafología

En la región de Tehuacán-Cuicatlán dominan las formaciones de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, que han sido sujetas a fenómenos de intemperismo para la formación de los suelos. De acuerdo con la carta de suelos, escala 1:250,000 del INEGI (1984), la superficie que comprende la RBTC presenta diferentes unidades de suelo que son: litosol, rendzina, regosol, feozem, acrisol, cambisol, luvisol, fluvisol, xerosol y vertisol.

4.1.5 Hidrología

Noventa y cinco por ciento de la superficie de la RBTC se ubica en la Región Hidrológica No. 28, correspondiente a la cuenca del río Papaloapan, la cual vierte sus aguas hacia el Golfo de México; el 5% restante forma parte de la Región Hidrológica No. 18, perteneciente al Alto Balsas, que vierte hacia el Océano Pacífico. En la RBTC se encuentran las sub-cuencas Río Salado y Río Grande, correspondientes con la Cuenca del Papaloapan, y las sub-cuencas

Atoyac-Balcón del Diablo y Acatlán, en la Cuenca del Alto Balsas (CONANP, 2013).

El principal río es el Salado que se origina al oriente, en la Sierra Negra y corre como afluente permanente por la fosa tectónica de Tehuacán, hasta unirse con el Río Grande, conformando el Río Santo Domingo que desemboca en la Presa Miguel Alemán en Tuxtepec, Oaxaca y posteriormente en el Golfo de México (CONANP, 2013).

Un aspecto muy importante de la hidrología de la región de Tehuacán son las galerías filtrantes, las cuales captan una gran cantidad de agua proveniente de los deshielos del Pico de Orizaba. Estas galerías fueron introducidas por los franciscanos a raíz de la Conquista Española (CONANP, 2013).

4.1.6 Climatología

En general, 73.5% de la superficie de la RBTC presenta climas secos o áridos (BS), seguidos de los templados (C) que ocupan 24.6%, el resto son climas cálidos y semicálidos A(C), acotado solo a la porción serrana que tiene vertiente hacia el Golfo de México (CONANP, 2013).

Según el mapa de isoyetas (INEGI, 1981) la mayor parte del territorio de la RBTC recibe de 400 y 500 mm de lluvia anual, con excepción de la porción Este de la reserva, que comprende la Sierra Negra, Mazateca, Pápalos y Monteflor, que registran lluvias superiores a los 900 mm anuales debido a su ubicación geográfica que recibe vientos húmedos del Golfo de México.

4.1.7 Características biológicas

La RBTC, forma parte de la provincia florística del Valle Tehuacán-Cuicatlán en la región Xerofítica Mexicana (Rzedowski, 1978). Cubre un área de casi 10 mil kilómetros cuadrados y representa un mosaico fisiográfico con valles internos, separados por varias cordilleras. Es considerada como una región semiárida, con temperatura media anual de 21°C y precipitación media anual de 400 mm. Las condiciones áridas del valle son principalmente el resultado del efecto de “sombra orográfica” que produce la Sierra Madre Oriental (Villaseñor *et al.*, 1990; Dávila *et al.*, 1993).

La riqueza florística del Valle Tehuacán-Cuicatlán, comparado con otros estados del país y con otras áreas naturales con ecosistemas similares, ocupa el primer lugar en biodiversidad de flora con 2 mil 686 especies, que representa 0.26 especies/km²; con 365 especies endémicas de plantas vasculares (13.6%), de las cuales 82% se tienen registradas dentro de los límites de la RBTC. Esta reserva natural ocupa el primer lugar en especies endémicas y por lo tanto es de suma importancia para la protección de la riqueza florística de las zonas áridas y semiáridas de México (Méndez-Larios *et al.*, 2004).

Cabe mencionar que la zona de estudio registra 808 especies de plantas con usos medicinales, forrajeras y alimenticios, entre otros, que fueron identificadas por Casas *et al.*, (2001).

En la RBTC se tienen especies de fauna representativos de las regiones Neártica y Neotropical. Entre los vertebrados se han reportado 14 especies de peces, 28 especies de anfibios, 83 especies de reptiles (20 de ellas endémicas), 338 especies de aves (cinco endémicas), 102 especies de mamíferos (11 son endémicas y 26 se catalogan en riesgo de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana Nom-O59 (SEMARNAT, 2010). Las especies más estudiadas son los murciélagos, de los cuales se reportan 38 especies que habitan en la RBTC (CONANP, 2013).

4.1.8 Vegetación

La vegetación de la RBTC es diversa y compleja (Figura 1). Rzedowski (1978) describe nueve tipos de vegetación de los 10 que reporta para la república mexicana: Bosque tropical caducifolio, bosque tropical sub-caducifolio, matorral xerófilo, bosque espinoso, pastizal, bosque de *Quercus*, bosque de coníferas, bosque mesófilo de montaña y vegetación acuática y subacuática, e incluye el palmar y bosque de galerías.



Figura 1. Panorama fisiográfico de la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.

4.2 Sistemas silvopastoriles

El pastoreo del ganado en pastizal nativo y el aprovechamiento del follaje de árboles y arbustos como principal fuente de alimento, es una práctica común en la ganadería tradicional de la región. No obstante, los sistemas modernos de producción ganadera requieren de tecnologías basadas en el uso de forrajes energético-proteicos que puedan reemplazar las dietas a base de solo pastos, o el empleo de sistemas de corte y acarreo de forraje en grandes áreas de monocultivo (Fadiga, 2014).

Los sistemas agroforestales que incorporan a la dieta diaria de los animales, además de las gramíneas, el follaje de árboles, arbustos y otras herbáceas, constituyen una opción viable económica y socialmente, minimizando daños ambientales (Iglesias *et al.*, 2011). Los sistemas agroforestales pecuarios más empleados son los llamados sistemas silvopastoriles y agrosilvopastoriles; definidos éstos como el conjunto de técnicas de uso de la tierra que implica la asociación deliberada de un componente leñoso (forestal o frutal) con pasturas y/o cultivos en el mismo terreno (Nair, 1989). La combinación de los componentes arbóreo y herbáceo con la presencia de herbívoros en pastoreo, producen interacciones biológicas, ecológicas y económicas que determinan la productividad y sostenibilidad del sistema. Estos sistemas agro y silvopastoriles son practicados a diferentes estatus sociales y económicos, en grandes plantaciones arbóreas comerciales con presencia de ganado en pastoreo o como complemento a la agricultura de subsistencia (Figueroa, 2009).

De este modo, la incorporación estratégica de plantas arbóreas y arbustivas en las áreas de pastoreo, constituye una alternativa tecnológica que contribuye a mejorar la producción ganadera, disminuyendo el impacto negativo sobre el ecosistema generado por la ganadería convencional; es una opción económicamente viable que reduce los daños al medio ambiente y es aceptada socialmente; trae beneficios a corto plazo mediante el incremento sostenido de la producción animal (Preston, 1995).

El enfoque principal de los sistemas agro y silvopastoriles es optimizar la producción pecuaria, mejorar la calidad del alimento y el bienestar de los animales en pastoreo, a la vez que se generan ingresos adicionales por venta de madera y frutos, rehabilitando los suelos degradados y brindando servicios ambientales adicionales, como la disminución de la erosión, recargas acuíferas y biodiversidad, lo cual ayuda a los ganaderos a competir con productos de mejor calidad en el mercado (Trujillo, 2008). Estos sistemas agroforestales diversifican la producción, lo que permite obtener ingresos permanentes a corto, mediano y largo plazo.

Las tecnologías silvopastoriles han mostrado resultados relevantes al incrementar la producción de carne y leche en pastoreo, y se perfilan como sistemas que pueden ser generalizados a la crianza de ganado (Iglesias *et al.*, 2006).

4.2.1 Ventajas y desventajas de los sistemas silvopastoriles

De acuerdo con lo planteado por Ruiz (1983), algunos factores que favorecen la presencia de los sistemas silvopastoriles son: a) los pequeños productores, con limitaciones de tierras, pueden llegar a producir en los bosques alimentos de origen animal (leche, carne) sin sacrificar el área dedicada a cultivos; b) se logra diversificar la mano de obra y la naturaleza de los productos del sistema de finca; c) los productores pueden obtener beneficios económicos resultantes de varios productos como leña, postes, madera y forraje; d) la ganadería permite la utilización y control de los pastos y las malezas que compiten con el desarrollo de los árboles juveniles; e) el pastoreo de la vegetación de cobertura reduce el riesgo de incendios forestales; f) la asociación del ganado con cultivos, aprovecha entre 60 y 70% de la biomasa vegetal que se produce con mínima competencia con la alimentación humana; g) la ganadería asociada con árboles que fijan nitrógeno al suelo, contribuye a mejorar la fertilidad del suelo, además de ofrecer alimento proteínico al ganado a través del forraje.

Las desventajas más importantes de los sistemas agro y silvopastoriles son: a) hay efecto de compactación del suelo por pisoteo del ganado cuando no se planifica adecuadamente el sistema de pastoreo; b) se dificulta la cosecha mecanizada de cultivos, la henificación o ensilado de pasturas debido a la interferencia de los árboles y arbustos, a menos que la plantación de estos se planifique usando líneas simples o franjas (Fadiga, 2014).

Frecuentemente, algunos sistemas agrosilvopastoriles son considerados como prácticas de subsistencia, cargados de connotaciones desfavorables, lo cual ha

limitado su aceptación en un ámbito más amplio en los diferentes estratos de productores. Por otra parte, la experimentación formal de las interacciones del sistema es compleja no solo desde el punto de vista práctico, sino también biométrico, y requiere de un compromiso a largo plazo que pocos investigadores están dispuestos a asumir (Fadiga, 2014).

4.2.2 Sistema silvopastoril de zonas áridas

En México, aproximadamente el 50% del territorio nacional son ecosistemas de zonas áridas y semiáridas, utilizados en su mayoría para el pastoreo extensivo del ganado doméstico con escaso manejo sanitario y reproductivo por lo que la productividad es baja (Matteucci y Colma, 1997) (Figura 2). En estas condiciones, el follaje, flores y frutos de los árboles y arbustos forrajeros conforman la mayor cantidad de la dieta diaria de los animales herbívoros de las regiones áridas y semiáridas del país.



Figura 2. Sistema silvopastoril tradicional con ganado caprino en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.

Los sistemas silvopastoriles tradicionales de zonas áridas, históricamente, se han definido como áreas de tierras no cultivadas que se dedican al pastoreo de animales domésticos. Oficialmente y entre los productores rurales se les denomina agostaderos o pastizales. La productividad de la ganadería en este sistema es baja, debido, principalmente, a la existencia de un periodo adverso de sequía determinado por la escasez de lluvias y alta evaporación que favorece el deterioro de las condiciones ambientales para el crecimiento y producción de las herbáceas forrajeras. El agua es el factor limitante para la producción de forrajes y cultivos durante el período seco, hasta que la llegada de las lluvias desencadena nuevamente la acumulación de biomasa y se generan estructuras de reserva. Así, la presencia y persistencia de las plantas forrajeras en condiciones semiáridas depende de la cantidad de reservas almacenadas por la planta durante la época de lluvias y por la cantidad de biomasa viva capaz de producir reservas. Todo factor que interfiera con los mecanismos de acumulación o que acelere la pérdida de las reservas disminuirá la resiliencia de las plantas de clima árido.

Injustamente, se han atribuido efectos negativos de los animales sobre la vegetación de la que se alimenta. Sin embargo, se han encontrado semillas viables de diversas especies dentro de los excrementos de las cabras, incluidas algunas cactáceas endémicas de la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán (Ruiz y Estrella, 2008).

Estos hallazgos muestran la función que tienen los animales domésticos como dispersores de semillas de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas en

ecosistemas frágiles (Baraza y Valiente, 2008). Por otro lado, se ha observado que la exclusión total del ganado no ha incrementado significativamente la biomasa y producción de flores y frutos (Semmartin *et al.*, 1993). Esto puede deberse a que el impacto del ganado sobre la vegetación es moderado o a que las plantas que crecen en climas semiáridos son tolerantes al pisoteo y defoliación de los herbívoros. Sin embargo, estos resultados enfatizan la necesidad de realizar estudios más detallados de las interacciones que se establecen entre el ganado en pastoreo y las especies que conforman la vegetación natural para implementar planes de manejo adecuados en los hatos ganaderos.

4.2.3 Deterioro del Sistema Silvopastoril

Varios estudios se han conducido con el propósito de mejorar de la producción ganadera utilizando los beneficios de los sistemas silvopastoriles (Ibrahim *et al.*, 2006). Sin embargo, son pocas las investigaciones que se han enfocado al estudio de los sistemas agroforestales en áreas marginales cuyas condiciones ambientales y sociales no permiten la explotación intensiva tecnificada del ganado (Soriano *et al.*, 2006), mucho menos en aquellos que, por mal manejo de los animales y del agostadero, pueden afectar a los ecosistemas naturales por el sobrepastoreo. Por otro lado, el impacto del ganado sobre el ecosistema, principalmente sobre las comunidades vegetales, no puede verse desvinculado del manejo que el campesino hace del mismo (Mellado *et al.*, 2003), sobre todo si el objetivo es disminuir los efectos negativos de las interacciones entre los

componentes o para mejorar la productividad del sistema (Galina *et al.*, 1998; Morales *et al.*, 2000).

Desde la colonización española, la ganadería extensiva de ganado caprino ha sido el proceso productivo mediante el cual las comunidades campesinas establecidas en las zonas áridas han logrado su subsistencia (Hernández *et al.*, 2001). Sin embargo, esta actividad ganadera es considerada como la más degradadora de la vegetación debido a que los caprinos son capaces de consumir cualquier parte de la planta incluyendo corteza y raíces (Cardel *et al.*, 1997; Esparza-Olguín *et al.*, 2002). No obstante, son pocas las investigaciones que informan sobre los efectos que produce el pastoreo a los ecosistemas de zonas áridas.

El principal impacto de los ungulados sobre los ecosistemas se deriva de la remoción de gran cantidad de tejidos vegetales (Rooney y Waller, 2003). La defoliación intensa y frecuente puede dañar el crecimiento de la planta, debilitando los órganos de reserva y su reproducción. Sin embargo, también han sido descritas especies de plantas cuya respuesta a la pérdida de tejido por herbívoros es una sobrecompensación al crecimiento y producción de flores, frutos y/o semillas respecto a plantas no consumidas (Alados *et al.*, 1997; Fang *et al.*, 2006). La sobrecompensación se ha definido como un mecanismo resultante de la co-evolución entre las plantas y los herbívoros, que permite a determinadas especies vegetales, no sólo mantenerse, sino aumentar su adecuación en presencia de herbívoros (Paige y Whitham, 1987).

De hecho, algunas especies de plantas de matorrales de zonas semiáridas para las que se han descrito procesos de sobrecompensación son al mismo tiempo especies altamente palatables que pueden sufrir altas presiones de pastoreo (Alados *et al.*, 1997; Fang *et al.*, 2008). Por tanto, no se puede decir que la presencia de herbívoros sea necesariamente negativa para el desarrollo de una determinada especie vegetal (Baraza *et al.*, 2008).

4.2.4 Árboles y arbustos de uso forrajero

En los sistemas silvopastoriles se han identificado gran diversidad de especies arbóreas con potencial para la alimentación de rumiantes. Sin embargo, se acepta que el mayor potencial para la alimentación de estos animales se encuentra en las leguminosas.

El valor nutricional de las especies varía entre los diferentes componentes de la biomasa arbórea. Las hojas presentan mayores concentraciones de nutrientes que las ramas y tallos; la variación también se ha relacionado con la especie, edad de la planta y de los rebrotes, y en la relación tallo/hoja, llegando a tener estas especies forrajeras contenidos de proteína cruda superiores al 12%. Muchas de estas leñosas son ramoneadas por los caprinos bajo el sistema de pastoreo extensivo. El 54.5% de las leñosas que consumen las cabras pertenecen a la gran familia de las leguminosas, lo que representa en apariencia un suministro constante de proteína para el ganado a través de las distintas épocas del año (Valero, 2013).

El potencial de los árboles y arbustos de las regiones áridas y semiáridas está en la resistencia a la sequía, producción de madera para diversos fines y la

producción de vainas de elevada aceptabilidad y valor nutritivo, y la ventaja de que fructifiquen en la época seca (Ribaski y Menezes, 2002).

4.2.5 Producción de forraje de árboles y arbustos

Para que un árbol o arbusto pueda ser clasificado como forrajero debe reunir ciertos atributos, tanto en términos nutricionales como de producción de biomasa forrajera, y versatilidad agronómica. Los requisitos son: a) que sea palatable para incentivar el consumo por los animales; b) que tenga alto contenido de nutrimentos digestibles por el animal; c) que sea tolerante a la poda y a la defoliación; y d) que los rebrotes sean vigorosos como para obtener suficiente producción de biomasa comestible por unidad de área (Benavides, 1999).

Asumiendo que los arbustos forrajeros tienen como principal propósito el paliar las deficiencias nutrimentales de los animales en épocas de escaso forraje herbáceo disponible, la complementación del forraje arbustivo contribuye a aumentar tanto la producción de materia seca por unidad de superficie y a proveer una dieta más balanceada desde el punto de vista nutritivo. Sin embargo, considerando la escasa diversidad de especies forrajeras leñosas en las regiones semiáridas, así como a las dificultades de manejo de las plantaciones mixtas, es común que el estrato arbustivo sólo abastezca parte de las exigencias nutricias del ganado, lo que hace que su complementación con el estrato herbáceo sea conveniente (Lailhacar y Torres, 2000).

4.2.6 Estacionalidad de la producción forrajera

La ganadería caprina es la actividad ganadera más importantes para las familias campesinas en el Valle de Tehuacán. Sin embargo, este sistema de producción enfrenta limitaciones debido a la escasez de forraje durante la época de sequía; durante este periodo, el ganado se alimenta de plantas con bajo contenido nutricional y alto contenido de metabolitos secundarios, produciendo una pérdida importante de peso y sufriendo trastornos metabólicos. En conjunto, la dieta de los caprinos durante la época de sequía es deficitaria en proteína y fósforo (Ruíz *et al.*, 2008).

Estudios demuestran que algunas especies de *Opuntia*, *Agave salmiana*, frutos de *Yucca periculosa* y vainas de *Prosopis laevigata* y *Acacia subangulata*, tienen alto valor forrajero para ser utilizadas en combinación con rastrojo de maíz, como complemento alimenticio durante la estación seca. Estas fuentes de alimento posibilitan la estabulación o semi-estabulación del ganado durante la época de secas como alternativa de manejo para reducir la pérdida de energía usada durante la búsqueda de forraje a libre pastoreo, mejorando así la productividad del ganado y disminuye el impacto negativo del sobrepastoreo sobre la vegetación nativa (Baraza *et al.*, 2008).

Se ha observado también que diversas arbóreas mantienen la producción de forraje aun en época de sequía, además que los árboles pueden producir cantidades superiores de forraje comparado con los pastos, y la disponibilidad de forraje producido es más sostenida que la de los pastos en condiciones en las que no se utiliza fertilizante químico (Benavides 1999).

4.2.7 La poda en arbustos forrajeros

Numerosas especies de árboles producen abundantes biomasa comestible por unidad de área, son tolerantes a la poda y con fácil manejo agronómico. Asimismo, las asociaciones de gramíneas con leñosas forrajeras puede incrementar la producción de proteína cruda por unidad de área con respecto a la obtenida con el pasto en monocultivo (Benavides, 1999). Se ha investigado el efecto de las podas al final de la época lluviosa sobre la producción de biomasa en el período de sequía. Así, la poda de *Gliricidia sepium* (madero negro) en Octubre, Noviembre y Diciembre, detuvo la floración e incrementó el rendimiento de biomasa comestible para el ganado durante los meses de menor precipitación en el verano (Hernández, 1988).

Los beneficios de la poda son: permite la producción de nuevos rebrotes de mayor calidad nutritiva; permite que el ganado acceda con facilidad a la totalidad de la fitomasa forrajera producida por los nuevos rebrotes; reduce el grosor de las ramas con lo cual se reduce el daño físico de la planta y permite un aprovechamiento más profundo del follaje, incluyendo tallos tiernos; incrementa el reciclamiento de nutrientes provenientes de ramas y tallos; provee sombra y protección contra el frío y el viento a los animales; y permite el crecimiento de especies herbáceas bajo el dosel aprovechando los nutrientes que recién se incorporan al suelo, sea por fijación o por mineralización. El grosor de los tallos constituye la principal limitante en la producción herbácea, debido a que interfiere físicamente con el desarrollo de sus plantas al reducir la cantidad de luz disponible para los procesos fotosintéticos (Lailhacar y Torres, 2000).

4.2.8 Valor nutritivo del forraje

El follaje de numerosas especies de árboles y arbustos puede mejorar la calidad de las dietas disponible en la alimentación de los animales. El contenido de proteína cruda del follaje de muchos árboles y arbustos duplica o triplica al de los pastos, y frecuentemente el contenido energético de las leñosas es también superior al de los pastos, por lo que, la disponibilidad de follajes de las arbóreas en la dieta diaria incrementa la producción de leche y las ganancias de peso de los animales (Benavides, 1999).

El contenido en nutrientes está afectado por la edad del rebrote y por su posición en la rama. En el follaje de *Eythrina poeppigiana* se han observado variaciones en el contenido de proteína y la digestibilidad de la materia seca en todas las fracciones de la biomasa (Benavides y Pezo, 1986). Parece lógico presumir que este efecto está relacionado estrechamente con la edad y posición que tiene cada fracción de la biomasa dentro de la misma rama.

4.2.9 Compuestos anti-nutricionales

En el estudio de los forrajes no convencionales, además de evaluar la composición química, también es importante identificar la presencia y efectos de los factores antinutricionales, como los fenoles (taninos), alcaloides y glucósidos cianogénicos (tóxicos nitrogenados) y los esteroides y terpenos (saponinas) (Ramos *et al.*, 1998; Reed *et al.*, 2000). La función de estos compuestos en las plantas forrajeras es de protección de la herbivoría (Makkar *et al.*, 1991) y, por lo tanto, pueden producir efectos detrimentales en los animales que los consumen, entre los cuales se pueden observar menor

palatabilidad, disminución del consumo voluntario y decremento en la digestibilidad de la materia seca y de la proteína (Reed *et al.*, 1985). Sin embargo, en el caso de los rumiantes la presencia moderada de taninos tiene propiedades nematocidas y, al ligarse con las proteínas, son protectores naturales a la degradación del alimento por los microorganismos del rumen dejando disponible aminoácidos para ser absorbidos por el duodeno (Barry, 1983).

Tanto los frutos como las semillas pre-germinadas de *Acacia subangulata* son fuente rica en proteína y fósforo, los nutrientes limitantes durante la sequía. Sin embargo, la especie presenta varias complicaciones: por un lado, los frutos tienen alto contenido de taninos que pudiera disminuir su valor nutrimental (Rico, 2001; Mahgoub *et al.*, 2005); por otro lado, la producción de frutos depende del establecimiento de las lluvias, ya que la escasez de lluvias limita la producción de vainas.

4.3 Árboles y arbustos nativos de importancia forrajera

4.3.1 Sierrecilla (*Acacia subangulata*)

El árbol conocido como sierrecilla (*Acacia subangulata*) es una especie endémica que crece en el valle de Tehuacán, Puebla (Figura 3), y se caracteriza por su alta preferencia ya que el ganado caprino consume las hojas durante todo el año y también las vainas que caen durante la época de secas.

La sierrecilla tiene la siguiente clasificación taxonómica (IBUNAM, 2010):

Reino: Plantae

Phylum: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Fabales

Familia: Leguminosae

Género: Acacia

Epíteto específico: subangulata

Nombre Científico: *Acacia subangulata* Rose



Figura 3. *Acacia subangulata* (detalle de hojas, ramas y flores).

Baraza *et al.* (2008) reporta que *A. subangulata* es una de dos especies con mayor consumo animal en los meses de sequía, así como la de más alto valor nutricional por sus vainas con alto contenido de proteína (22-27%) y energía (52%). Tanto los frutos como las semillas de *A. subangulata* son fuente rica en proteína y fósforo, sin embargo, la especie presenta varias complicaciones: la recolección de semillas representa inversión de mano de obra y de tiempo, la disponibilidad de frutos y vainas depende de la disponibilidad de suficiente humedad en el suelo que solo se da durante la época de lluvias. Estas condiciones hacen difícil su utilización todo el año, a pesar de las buenas características nutricionales. Fuera deseable establecer un programa de recolección de semillas y propagación en vivero para aumentar su distribución en la RBTC con el propósito de mejorar la producción de biomasa comestible para el ganado caprino.

En otro estudio, Carrera (2014) encontró que *A. subangulata* fue señalada entre las plantas deseables más abundantes con un 9% de la composición florística, obteniendo correlación moderada entre la altura del árbol y la producción de forraje. En el mismo estudio, la producción promedio por individuo fue de 267 kg ha⁻¹ en árboles mayores de 1 metro, y 84 kg ha⁻¹ en plantas menores de 1 m de altura; asimismo, el número de tallos secundarios y terciarios fueron de 6 y 48 cm, respectivamente para árboles mayores de 1 m, y de 4 y 34 cm para árboles menores de 1 m.

4.3.2 Orégano (*Lippia graveolens*)

Lippia graveolens es el nombre científico del orégano. El nombre común proviene del griego “oros” (montaña) y “ganos” (ornamento), la decoración o la belleza de las montañas (Muñoz, 2002). Originaria de América, *Lippia graveolens* es un arbusto que crece en condiciones de climas cálido, semicálido, semiseco y templado, desde el nivel del mar hasta altitudes de 2200 msnm (Nash y Michael, 1984). En la república mexicana, las plantas de orégano se encuentran en estado silvestre en al menos 24 estados del país y se han identificado alrededor de 40 especies, todas conocidas como “orégano” (Huerta, 1997). La clasificación taxonómica del orégano es la siguiente (IBUNAM, 2010):

Reino: Plantae

Phylum: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Order: Lamiales

Familia: Verbenaceae

Género: *Lippia*

Epíteto específico: *graveolens*

Nombre científico: *Lippia graveolens* Kunth.

Sinonimia popular: Orégano del monte, canelilla, flor de orégano, hierba dulce, orégano del país, salvia, salvia de castilla.

La planta de orégano forma un pequeño arbusto achaparrado que mide de 45 cm hasta 1.80 m de alto. Los tallos se ramifican en su parte superior, tienden a deshojarse en las partes inferiores y contienen sustancias aromáticas (Sánchez *et al.*, 2007). Las ramas son cortamente pilosas; las hojas son opuestas ovales y anchas de entre 2 a 5 cm de largo, con bordes enteros o dentados, con el haz denso y suavemente piloso, el envés glandular y densamente tomentoso a piloso; las flores son diminutas de color blanco que nacen en apretadas inflorescencias terminales muy ramificadas (Figura 4); los frutos son pequeños encerrados en el cáliz.

Toda la planta posee pequeñas glándulas donde se almacena la esencia aromática, un líquido de color amarillo limón compuesto por un estearópteno y dos tipos de fenoles, uno de ellos el carvacrol y el otro el timol. La calidad de estos componentes determinan su valor en el mercado de plantas aromáticas (Huerta, 1997). Estas sustancias volátiles que contienen ácidos fenólicos y aceites esenciales, tienen propiedades antioxidantes, fungicidas, bactericidas además de citotóxicas, que son útiles en la industria de alimentos y farmacológica para la elaboración de diversos medicamentos para la salud humana y animal (Russo *et al.*, 1998).

Las hojas de *L. graveolens* se utilizan para darle sabor a la comida (Nash y Michael, 1984; Standley, 1961). También son usadas en medicina doméstica como estimulante de la menstruación (Standley, 1961).

En infusiones concentradas se usa contra el envenenamiento, y en infusiones diluidas se usa contra la gripe, infecciones estomacales y antigás. También se usa como forraje para el ganado caprino.



Figura 4. *Lippia graveolens* (hojas y flores).

Por su uso forrajero, Carrera (2014) describió al orégano como una especie deseable y su importancia en la composición florística tuvo un valor de 29 %, se registró una producción de forraje de 255 kg de materia seca ha⁻¹ y 6 tallos secundarios en promedio.

4.3.3 Palo canizo (*Mascagnia parviflora*)

De la especie arbustiva *Mascagnia parviflora* llamada comúnmente palo canizo (Figura 5), se tiene poca información agronómica, aunque tiene la siguiente clasificación taxonómica (IBUNAM, 2010):

Reino: Plantae

Phylum: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Polygalales

Familia: Malpighiaceae

Género: Mascagnia

Epíteto específico: parvifolia

Nombre Científico: *Mascagnia parvifolia* (Andr. Juss.) Nied.



Figura 5. *Mascagnia parviflora*.

En evaluaciones previas Carrera (2014) reportó que el follaje de esta especie también es consumida por el ganado que pastorea en áreas de la RBTC, por lo que fue agrupada en la lista de plantas forrajeras deseables con frecuencia florística de 17%, mostrando correlación moderada entre la altura y la producción de follaje, con 9 de tallos secundarios en promedio.

4.4 Caprinocultura en las zonas áridas

Al igual que en la mayor parte del territorio nacional, una de las características de la producción caprina en la RBTC es que se considera como de tipo familiar (INEGI, 1998), teniendo como base biológica al caprino criollo de México. De esta manera, la producción caprina en la zona de estudio es a pequeña escala, con ciclos productivos estacionales y solo se habla de la obtención de productos para el bienestar de la familia campesina (Hernández *et al.*, 2001). El sistema de pastoreo es extensivo adoptando prácticas silvopastoriles tradicionales, mediante el uso combinado de pastos y arbustos del matorral xerófilo. El confinamiento parcial o total de los caprinos es poco frecuente en las zonas áridas (Fuente *et al.*, 1989; Arbiza, 1986).

La producción caprina extensiva puede denominarse sustentable, ya que las cabras ramonean especies nativas de áreas forestales que no compiten con las zonas agrícolas, por tanto no se realiza deforestación de terreno como ocurre con el ganado bovino (Ezcurra y Montaña, 1990).

La cabra doméstica (*Capra hircus*) presenta un comportamiento alimenticio flexible y oportunista, lo que le permite adaptarse a distintas condiciones ecológicas (Genin y Pijoanb, 1993). Esto ha hecho que éste sea el ganado más

habitual en zonas donde la productividad de la vegetación es insuficiente y errática para otros animales (Lu, 1988). Además, estas zonas presentan condiciones adversas en la temporada seca del año, disminuyendo drásticamente la disponibilidad de forraje. Es en esta época cuando la cabra muestra el mayor consumo de follaje, frutos y vainas proveniente de árboles y arbustos (Genin y Pijoan, 1993; Papachristou y Nastis, 1993).

Estudios sobre las especies forrajeras nativas que consume el ganado caprino ayudan a comprender el comportamiento de las plantas en su entorno natural y su relación con la herbivoría. El comportamiento de las especies y sus mecanismos de reproducción y otras estrategias que aseguren la persistencia en el tiempo también son importantes en los sistemas agroforestales.

En el caso de la alimentación animal, el estudio fenológico de las especies forrajeras permite planificar los sistemas silvopastoriles, para obtener un mejor aprovechamiento de los recursos vegetales disponibles; asimismo se ha postulado que estos sistemas, responden en parte a los problemas de la deforestación, degradación de los ecosistemas y a la sostenibilidad de la ganadería; minimizar la compra de insumos exógenos contribuye a reducir la contaminación y la destrucción de los recursos naturales (Giraldo, 1996).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Área de estudio

La Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán cuenta con una gran variedad de topoformas, precipitación, temperatura, altitud, exposición, sustratos geológicos y diversos tipos de suelo, que determina la diversidad en los tipos de vegetación presentes.

El sitio de muestreo de las plantas forrajeras seleccionadas en el presente estudio se ubicó en la comunidad de Santa Ana Teloxtoc, perteneciente al municipio de Tehuacán, Puebla. Está dentro de la zona ejidal, en el predio de uso común identificado como Chantile, en el cual el ganado caprino pastorea regularmente. Se localiza en las coordenadas 18°19'51" Latitud N y 97°33'36 Longitud W, a 1646 msnm (CONAFOR, 2013). El clima es semiseco y semicálido con lluvias en verano, la clave climática es BS1hw(w). La temperatura promedio es de 18.1°C, con máxima de 26.2°C y la mínima de 10°C, mientras que la precipitación anual promedio es de 485.6 mm (SMN, 2010). La temporada de lluvias se presenta de mayo a octubre, con mayores probabilidades de lluvias entre junio y septiembre (CONAFOR, 2013; Figura 6).

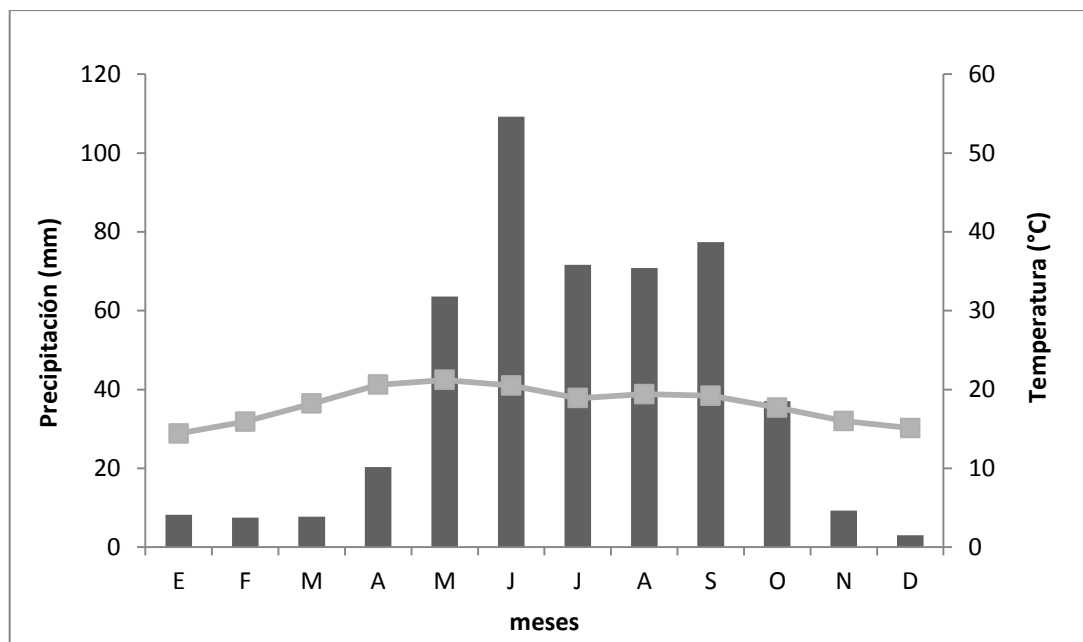


Figura 6. Curvas de temperatura y precipitación en Tehuacán, Puebla (SMN, 2010).

La asociación vegetal en el predio Chantile se caracteriza por la dominancia de las especies vegetales *Cephalocereus columna-trajani* y *Neobuxbaumia sp*, con tallos columnares de hasta quince metros de alto. En el estrato inferior, se encuentra el matorral arbustivo abierto y árboles bajos dispersos. Los principales elementos florísticos del matorral son: *Acacia bilimekii*, *Agave kerchovei*, *Agonandra conzatti*, *Beaucarnea gracilis*, *Caesalpinia melanadenia*, *Castela tortuosa*, *ceiba parvifolia*, *Cercidium praecox*, *Euphorbia antisyphylitica*, *Fouquieria formosa*, *Hechtia pringlei*, *Ipomea conzatti*, *Jatropha spathulata*, *Lippia graveolens*, *Opuntia sp*, *Yucca periculosa*, *Prosopis laevigata* y *Tillandsia reticulata*, entre otras (CONAFOR, 2013).

5.2 Selección de especies

El presente estudio consideró la evaluación de tres especies arbustivas forrajeras presentes en el matorral xerófilo de la RBTC que poseen características de mayor consumo por las cabras de acuerdo a la disponibilidad de forraje y palatabilidad. La selección de los arbustos estudiados consideró la opinión de varios productores que pastorean cabras dentro del sitio Chantile. La versión de los caprinocultores fue constatada mediante recorridos en el área de estudio en acompañamiento con pastores y observación directa de la preferencia de las cabras por los arbustos, tomando como criterio el número de cabras que ramonearon alguna especie arbustiva en particular.

Una vez elegidas las tres especies forrajeras de mayor preferencia para el ganado caprino, se delimitó del área de muestreo; para ello, se realizó un recorrido al interior del área de pastoreo para identificar los sitios de la vegetación natural con menor deterioro, con presencia regular de las especies arbustivas seleccionadas.

Las especies objeto del presente estudio fueron:

- Sierrecilla (*Acacia subangulata*),
- Orégano (*Lippia graveolens*)
- Palo canizo (*Mascagnia parviflora*).

Una vez delimitado el sitio de muestreo, se realizó selección aleatoria de los arbustos dentro de la población total de cada especie dentro del sitio. Mediante este procedimiento se seleccionaron y marcaron 50 individuos de A.

subangulata, 50 individuos de *M. parviflora* y 50 individuos de *L. graveolens*, colocando en una piedra adyacente a cada arbusto un número progresivo usando pintura indeleble, asimismo, se realizó geoposición de cada arbusto seleccionado utilizando GPS, para el mejor control de la ubicación de cada individuo a muestrear. El experimento fue realizado entre los meses de mayo a octubre del 2014, durante el periodo de lluvias. Las variables a medir en campo fueron: densidad de plantas (número de individuos por ha), diámetro de copa del arbusto (cm), altura de la planta (cm), número de ramas secundarias y producción de forraje comestible (kg de MS por arbusto).

5.3 Producción de forraje

Para evaluar el recurso forrajero de los arbustos seleccionados se cuantifico la producción total de materia seca (kg) de cada especie por unidad de superficie. Para ello, se procedió a colectar manual hojas y tallos tiernos de cada arbusto a una altura no mayor a 1.80 m, simulando la altura de ramoneo del ganado caprino (Meneses, 1993). El forraje cosechado se colocó en bolsas de papel previamente identificadas para su traslado, secado, pesaje, conservación y posterior análisis bromatológico.

Debido a que *M. parviflora* y *L. graveolens* son arbustos deciduos que pierden sus hojas durante las épocas de frío y secas, la producción de forraje registrada correspondió solo al periodo de lluvias de la fase experimental. En el caso de la perennifolia *A. subangulata*, se realizó una poda al inicio del experimento para igualar las condiciones en la emisión de los primeros y subsecuentes rebrotes.

El material vegetal colectado fue secado durante dos días al aire libre, y colocado después en una estufa de aire forzado a temperatura de 70°C durante 72 horas. Al finalizar el proceso de secado, el follaje fue pesado para obtener la producción de materia seca de por planta y estimar el rendimiento de forraje seco por hectárea. La Figura 7 muestra aspectos de la obtención y acondicionamiento del material vegetal de los arbustos seleccionados.



Figura 7. Cosecha y determinación de materia seca.

5.4 Frecuencia de corte e intensidad de defoliación

La frecuencia de corte (FC) se refiere al intervalo de tiempo entre ramoneos, como días, semanas, meses o años (Huss, 1993). La intensidad de defoliación (ID) es la cantidad de la producción de forraje, medida en peso, que corta el hombre o consume el ganado. A esto también se llama "grado de utilización", lo que a menudo se expresa en porcentaje del peso del producto que ha sido consumido (Huss, 1993).

Con la finalidad de conocer la cantidad de producción de materia seca por frecuencia de corte e intensidad de defoliación en la época de lluvias para los tres arbustos objeto de estudio, se establecieron 5 tratamientos con 10 unidades experimentales cada uno. El primer grupo de arbustos se defolió a los 45 días iniciadas las lluvias a una ID de 50% los cuales fueron defoliados por rama y de forma alternada, dejando en el arbusto el otro 50% del follaje producido. El tratamiento 2 consistió en la defoliación de 10 arbustos de cada especie a los 45 días después del inicio de las lluvias, a ID de 100%, donde se removió toda la biomasa comestible (hojas y tallos tiernos) presente en cada arbusto (Cuadro 1). El tercer tratamiento se realizó a la FC de 60 días con una defoliación de 50% de intensidad. El tratamiento 4 se caracterizó por la defoliación de los arbustos a los 60 días con ID de 100%. El tratamiento 5 consistió en la defoliación por única ocasión a los 150 días después de iniciado el crecimiento en la temporada de lluvias. El follaje cosechado en cada frecuencia e intensidad de defoliación fue colocado en bolsas de papel perfectamente identificadas y se le registro su peso correspondiente.

Cuadro 1. Tratamientos de frecuencia de corte e intensidad defoliación para los tres arbustos forrajeros en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.

Tratamiento	Fecha 1era defoliación	Frecuencia de corte, (días)	Intensidad de defoliación, (%)	# arboles	Fecha 2da defoliación
1	26-28/06/2014	45	50	10	20-21/08/2014
2	26-28/06/2014	45	100	10	20-21/08/2014
3	18-20/07/2014	60	50	10	15-17/09/2014
4	18-20/07/2014	60	100	10	15-17/09/2014
5	10-12/10/2014	150	100	10	-----

En los tratamientos 1 y 2 se realizó una segunda defoliación con FC acumulada de 45 días a ID correspondiente a cada tratamiento; para el tratamiento 3 y 4 FC acumulada fue de 60 días con ID correspondiente (Cuadro 1).

5.5 Densidad de plantas

La densidad como atributo de las especies vegetales en un ecosistema es el número de individuos de una especie en particular por unidad de área. El término se refiere a la abundancia o dispersión de una especie arbórea, arbustiva o herbácea entre sí. Para determinar la densidad de individuos de la misma especie arbustiva se utilizó la técnica de conteo directo propuesto por Coulloudon *et al.* (1999), para lo cual, se delimitaron 10 parcelas temporales mediante cuadrantes 10 x 10 m lineales para contabilizar los individuos de *A. subangulata* presentes en 100 m²; 15 parcelas temporales en cuadrantes 3 x 3

m para contabilizar individuos de *M. parviflora* y *L. graveolens* presentes en cada parcela de 9 m².

5.6 Características morfológicas

La medición de los parámetros morfológicos de los arbustos (diámetro de copa, altura), consistió en determinar la longitud del diámetro de copa (cm) de cada individuo seleccionado midiendo con cinta métrica las distancias en cruz de la copa con orientación norte-sur y este-oeste. Inmediatamente después de tomar medidas de la copa del árbol se procedió a medir la altura del mismo de la base a la parte más alta del follaje (cm); asimismo, se contabilizó el número de ramas secundarias de cada arbusto. Estos datos permiten conocer las dimensiones morfológicas promedio de cada especie (Molinero, 1983), útiles para estimar correlaciones con la producción de forraje producida y desarrollar ecuaciones de predicción de biomasa forrajera en cualquier época del año.

5.7 Evaluación nutrimental del forraje

Las muestras secas del forraje de los arbustos muestreados en cada frecuencia e intensidad de defoliación fueron molidas con una criba de 2 mm para realizar el análisis bromatológico. Los tratamientos consistieron en cinco periodos de corte (45, 60, 90, 120, 150 días) para cada especie (*Acacia subangulata*, *Lippia graveolens*, *Mascagnia parviflora*) con 10 repeticiones por tratamiento.

Las variables a estimar en el laboratorio fueron:

Peso seco de la muestra: se utilizaron entre 5 g de muestra y se metieron a una estufa a 105°C durante 24 horas hasta obtener el peso constante de la muestra con el propósito de obtener el porcentaje de humedad y expresar los nutrientes contenidos en la muestra en base seca.

Cenizas: El contenido de cenizas se determinó al incinerar la muestras molidas en una mufla a 550°C durante 6 horas (AOAC, 1995).

Proteína Cruda: Se utilizó el método Kjeldahl para determinar el contenido de nitrógeno total (Tejada, 1983) de cada muestra, el cual fue multiplicado por el factor 6.25 para obtener el valor de proteína cruda en porcentaje.

Extracto etéreo: se utilizó 1 g de muestra seca la cual se pesó dentro de un cono de papel filtro el cual se metió en un dedal para ser colocada en una máquina de extracción que utiliza como solvente éter etílico el cual extrae todos los lípidos de la muestra para contabilizar el porcentaje de extracto etéreo.

Fibra Detergente Neutro y Acido (FCN y FCA). Los componentes fibrosos de la pared celular (FCN y FCA) del follaje cosechado se determinaron mediante el procedimiento propuesto por Van Soest *et al.* (1991). También fue determinada la lignina detergente ácido (LDA; Goering y Van Soest, 1970). La concentración de FCN, FCA y LDA se determinaron secuencialmente en el analizador de fibras ANKOM200 usando bolsas filtro con tamaño de poro de 30 micrones.

Los cálculos para FCN, FCA y LDA en base seca se realizaron sustituyendo los valores obtenidos a las formulas siguientes:

$$\text{FCN} = 100 \times \{(\text{T+FCN}) - [\text{T1} \times (\text{Tbco2/Tbco1})] / (\text{MH1} \times \text{MS105})\}$$

$$\text{FCA} = 100 \times \{(\text{T+FCA}) - [\text{T1} \times (\text{Tbco2/Tbco1})] / (\text{MH1} \times \text{MS105})\}$$

$$\text{LDA} = 100 \times \{(\text{T+LDA}) - [\text{T1} \times (\text{Tbco2/Tbco1})] / (\text{MH1} \times \text{MS105})\}$$

Dónde:

MH1 (g): peso de la muestra.

MS105 (g/g): coeficiente de materia seca a 105°C.

T+FCN (g): peso final de la bolsa conteniendo la fibra.

T+FCA (g): peso final de la bolsa conteniendo el residuo de fibra.

T+LDA (g): peso final de la bolsa conteniendo la lignina.

T1 (g): Peso de la bolsa vacía.

Tbco1 (g): Peso promedio de la bolsa para el blanco inicial (previo a la digestión con el detergente).

Tbco2 (g): Peso promedio de la bolsa para el blanco final (después de la digestión con el detergente).

Adaptado por Jaurena y Wawrzekiewicz (2011).

El contenido de hemicelulosa (HC) y celulosa (CL) fueron estimados mediante la diferencia entre FCN y FCA, y entre FCA y LDA, respectivamente.

5.8 Diseño experimental y análisis de datos

Se empleó un diseño experimental de bloques al azar con arreglo factorial (3 x 3 x 2), donde el primer factor de análisis fue la especie arbustiva (*A. subangulata*, *L. graveolens* y *M. parviflora*), el segundo factor la frecuencia de corte (45, 60 y 150 días) y el tercer factor fue la intensidad de defoliación (50 y 100%). El análisis estadístico consideró el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + ES_i + FC_j + ID_k + (ES*FC)_{ij} + (ES*ID)_{ik} + (FC*ID)_{jk} + (ES*FC*ID)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde;

Y_{ijk} = el valor de la variable como efecto de la *i-ésima* especie arbustiva para la *j-ésima* frecuencia de corte y la *k-ésima* intensidad de defoliación;

μ = medía general;

ES_i = efecto de la *i-ésima* especie forrajera (*A. subangulata*, *L. graveolens* y *M. parviflora*);

FC_j = efecto de la *j-ésima* frecuencia de corte (45, 60 y 150);

ID_k = efecto de la *k-ésima* intensidad de defoliación (50, 100);

$(ES*FC)_{ij}$ = efecto de la interacción entre la *i-ésima* especie arbustiva y la *j-ésima* frecuencia de corte;

$(ES*ID)_{ik}$ = efecto de la interacción entre la *i-ésima* especie arbustiva y la *k-ésima* intensidad de defoliación;

$(FC*ID)_{jk}$ = efecto de la interacción entre la j -ésima frecuencia de corte y la k -ésima intensidad de defoliación;

$(ES*FC*ID)_{ijk}$ = efecto de la interacción entre la i -ésima especie arbustiva, la j -ésima frecuencia de corte y la k -ésima intensidad de defoliación;

ε_{ijkl} = efecto aleatorio del error estándar.

El análisis estadístico se realizó mediante el procedimiento GML de SAS (2000) y la comparación de medias de tratamiento mediante con el procedimiento propuesto por Tukey con un nivel de confianza de 0.05. Se realizó también un análisis de correlación (r) entre la producción de forraje y las medidas morfológicas de las especies arbustivas estudiadas. Asimismo, se obtuvieron modelos de regresión lineal simple para predecir el rendimiento de forraje de cada una de las arbustivas a través de los valores de las variables morfológicas.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al analizar el efecto de los factores principales (especie arbustiva, frecuencia de corte e intensidad de defoliación) y sus interacciones, solo hubo efecto de la especie arbustiva sobre las variables estudiadas ($p < 0.0001$; Cuadro 2).

Cuadro 2. Nivel de significancia de los efectos principales sobre las variables analizadas para sierrecilla (*A. subangulata*), orégano (*L. graveolens*) y palo canizo (*M. parviflora*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.

Variable	Especie	FC	ID	FC*ID	ID*FC
Altura de la planta	0.0001	0.4115	0.0895	0.2555	0.5284
Número de tallos	0.0001	0.0598	0.4772	0.5569	0.9736
Diámetro de copa	0.0001	0.1320	0.3874	0.0624	0.7988
Producción de MS	0.0001	0.4918	0.3459	0.9043	0.0022

MS= materia seca; FC= frecuencia de corte; ID= intensidad de defoliación.

6.1 Densidad de plantas y producción de forraje total

A. subangulata presentó el menor porcentaje de individuos por ha, mientras que la densidad de plantas de *L. graveolens* fue cinco veces mayor que *M. parviflora* (Cuadro 3). Estos resultados difieren de los reportados por Carrera (2014) con un valor de densidad para *A. subangulata* de 433 individuos por ha, 323 plantas más por unidad de área a lo observado en esta investigación.

La mayor densidad de plantas (15,778 individuos) fue para *L. graveolens*. Sin embargo, otras investigaciones realizadas en diversas regiones semiáridas de México reportaron valores de densidad menores a lo encontrado en este estudio; 6,000 plantas ha⁻¹ (Velázquez, 2005); 3,891 plantas ha⁻¹ (Osorno *et al.*,

2009); 1,620 plantas ha⁻¹ (García, 2012); 2,800 plantas ha⁻¹ (Carrera, 2014). El único estudio con valores similares a esta investigación lo reportaron Sánchez *et al.* (2007) en rango de 6,236 a 25,200 plantas ha⁻¹, para el Norte de Jalisco. Estas diferencias en las densidades de plantas de orégano muestran la adaptación de la especie arbustiva a diversos ecosistemas, pero también son resultado de la presión por los sistemas de aprovechamiento del recurso que repercuten en la reproducción y en la abundancia de plantas por unidad de área. En total, se encontraron 796.3 kg de MS para las tres arbóreas estudiadas durante la temporada de lluvias, correspondiendo a *L. graveolens* (orégano) 76.8%, *A. subangulata* (sierrecilla) 15.5% y *M. parvifolia* (palo canizo) 7.7% del aporte total de forraje seco disponible para los caprinos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Densidad de plantas y producción de materia seca para sierrecilla (*A. subangulata*), orégano (*L. graveolens*) y palo canizo (*M. parviflora*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.

Estimador	Sierrecilla	Orégano	Palo canizo
Densidad (plantas ha ⁻¹)	110 ^a	15,778 ^b	2,778 ^c
Producción MS (g planta ⁻¹)	1,049.9 ^a	38.8 ^b	24.7 ^b
Producción MS (kg ha ⁻¹)	115.5 ^a	612.2 ^b	68.6 ^c

Medias con diferente letra por fila son estadísticamente diferentes (P<0.0001).

En un estudio reciente, Carrera (2014) reportó 175 kg ha⁻¹ para sierrecilla, 255.36 kg ha⁻¹ para orégano y 111.14 kg ha⁻¹ para palo canizo, es decir, 356 kg ha⁻¹ de follaje de orégano menos a lo estimado en el presente estudio; mientras que para sierrecilla y palo canizo la producción de MS fue de 51 y 62% mayor respectivamente a lo mostrado en el Cuadro 3. Estas diferencias en la

producción de follaje entre los tres arbustos estudiados dependen de las condiciones climáticas, edáficas y fisiográficas de la región y a las perturbaciones de la vegetación en los diferentes sitios de pastoreo.

6.2 Producción de materia por frecuencia de corte e intensidad de defoliación

La productividad del ganado en pastoreo extensivo depende de la disponibilidad y suministro del forraje proveniente de herbáceas y arbustivas. Se encontraron diferencias en el rendimiento de forraje de las especies arbustivas entre los tratamientos ($p < 0.0001$). El rendimiento de MS del orégano en todos los tratamientos fue mayor comparado con sierrecilla y palo canizo. En el tratamiento 5 (FD=150, ID=100) la diferencia significativa se presentó en el arbusto canizo con respecto a las otras dos especies; con la menor producción. En el cuadro 4 se observa la máxima producción para *L. graveolens* ($560.12 \pm 132.5 \text{ kg ha}^{-1}$) y *M. parviflora* ($192.8 \pm 58.7 \text{ kg ha}^{-1}$) fue en el tratamiento 2; mientras que *A. subangulata* tuvo máxima producción en T5.

La menor producción para *A. subangulata* fue en el tratamiento 1 (FC=45 con ID=50); para *L. graveolens* y *M. parviflora* fue en el tratamiento de 150 días después de lluvias y defoliación 100%. En las tres especies se observa el comportamiento de la producción acumulada donde los tratamientos 1 y 3 obtuvieron la menor cantidad de follaje. Esto se debe a que en ambos tratamientos los arbustos fueron defoliados al 50% y el forraje remanente que quedó en los arbustos impidió la emisión de nuevos rebrotes, a diferencia de

aquellos arbustos que fueron defoliados al 100% que fueron capaces de emitir nuevos rebrotes.

Cuadro 4. Promedio de producción de materia seca (g planta⁻¹) en los tratamientos para sierrecilla (*A. subangulata*), orégano (*L. graveolens*) y palo canizo (*M. parviflora*), en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.

Tratamiento	Sierrecilla (± e.e)	Orégano (± e.e)	Palo canizo (± e.e)
T1	72.47±18.5 ^{bA}	282.42±65.32 ^{bB}	87.78±16.89 ^{bA}
T2	134.5±31.45 ^{aA}	560.12±132.7 ^{aB}	192.8±58.7 ^{aA}
T3	75.85±15.45 ^{bA}	279.58±75.57 ^{bB}	91.11±14.97 ^{bA}
T4	128.97±40.42 ^{aA}	550.8±149.89 ^{aB}	109.45±31.78 ^{aA}
T5	209.95±112.66 ^{aA}	272.95±132.06 ^{bA}	83.06±18.3 ^{bB}

T1= cada arbusto se defolió a 45 días de iniciadas las lluvias con ID de 50%; T2= cada arbusto se defolió a 45 días de iniciadas las lluvias con ID de 100%; T3= cada arbusto se defolió a 60 días de iniciadas las lluvias con ID de 50%; T4= cada arbusto se defolió a 60 días de iniciadas las lluvias con ID de 100%; T5= cada arbusto se defolió a 150 días de iniciadas las lluvias con ID de 100%.

Medias con distinta literal en mayúsculas dentro de cada fila muestra diferencias ($p < 0.0001$); Medias con distinta literal en minúsculas dentro de cada columna muestra diferencias ($p < 0.0001$) ± e.e: error estándar de la media.

Estas diferencias entre los tratamientos 1 y 3 con respecto a los tratamientos 2 y 4 se explican por el hecho que si los arbustos son defoliados completamente (ID al 100%) en dos ocasiones durante el periodo de lluvias, la remoción total del follaje presente estimula la emisión de yemas y nuevos rebrotes, la cual permitió el crecimiento vigoroso del follaje. No obstante, Huss (1993), establece que la defoliación completa durante los periodos de inactividad de la planta puede reducir las reservas de carbohidratos, afectando de modo adverso el crecimiento de la planta el año siguiente y comprometiendo la sobrevivencia de la planta.

En la figura 9 se observa el comportamiento de producción de materia seca para la especie sierrecilla en sus cinco tratamientos; donde la producción acumulada de los tratamientos 1 y 3 obtuvo la menor cantidad de follaje, esto se debe a que los arbustos fueron defoliados al 50% en los dos cortes y el forraje remanente que se quedó en los arbustos impidió la emisión de hojas nuevas. En los tratamientos 2 y 4 la producción acumulada tuvo diferencias significativas ($P < 0.0001$) con respecto a 1 y 3, esto se deriva de las características de dichos tratamientos; lo cual nos permite entender que al defoliarlo completamente por dos ocasiones se estimula la remoción de reservas presentes en raíces y yemas, la cual permitió una mayor emisión de follaje.

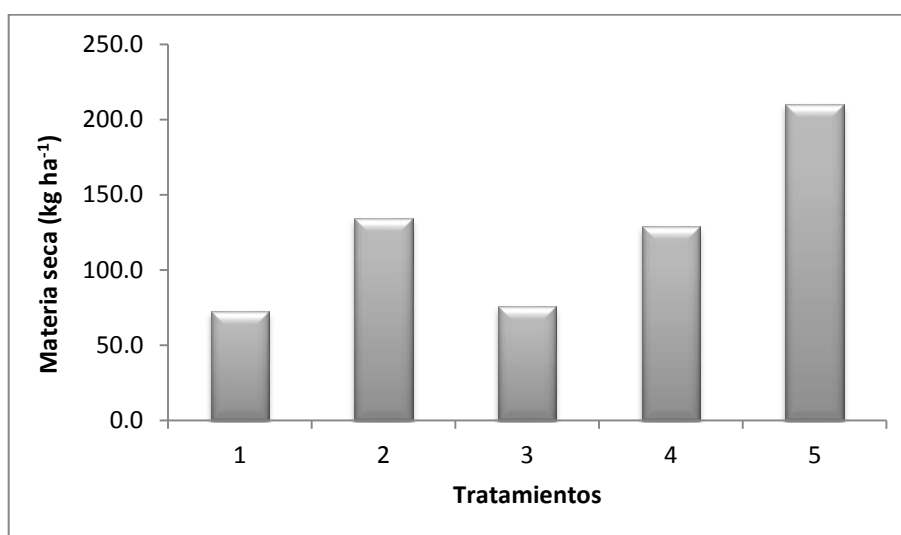


Figura 8. Producción de materia seca-promedio por tratamiento para sierrecilla (*A. subangulata*); en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.

El último tratamiento presento la máxima producción debido a la acumulación de forraje de toda la temporada lluvias (150 días), sin embargo no tuvo diferencia significativa con los tratamientos 2 y 4. Por lo cual es indistinto si se realizan dos cortes por arbusto dentro de la época lluviosa o un solo corte al final de la temporada, lo único cambiante es la calidad de este, aspectos que se detallan en los capítulos siguientes.

La producción de MS de *L. graveolens* (orégano) fue mayor en los tratamientos 2 (FC=45; ID=100) y 4 (FC=60; ID=100) en comparación con los tratamientos 1, 3 y 5 ($P < 0.0001$; Figura 10), pero el rendimiento de forraje seco fue similar ($p > 0.0001$) entre los tratamientos 1 (FC=45; ID=50), 3 (FC=60; ID=50) y 5 (FC=150; ID=100), indicando que la frecuencia de corte afecta la producción de forraje proveniente del orégano. Las alternativas de defoliación que ofrecen mejores resultados durante la época de lluvias son ID a 100% a intervalos de 45 a 60 días con mayor acumulación de forraje sin comprometer la persistencia de la especie arbustiva.

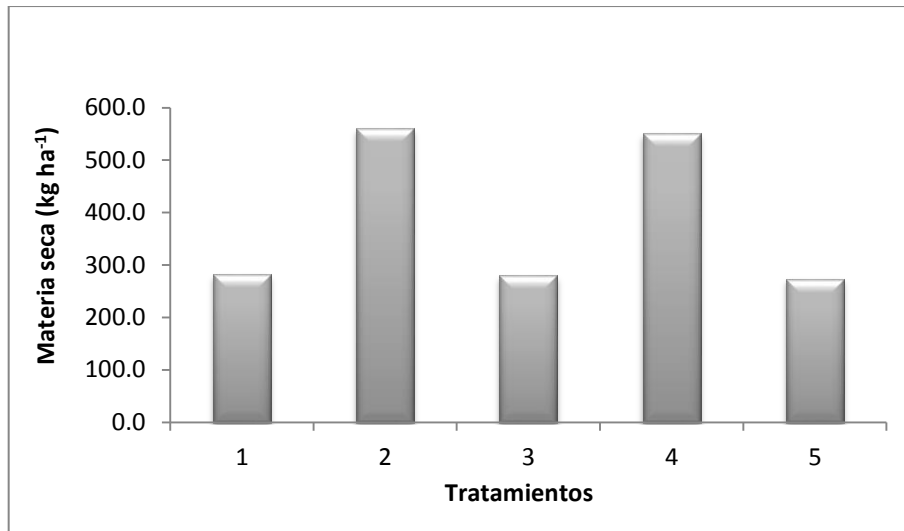


Figura 9. Producción de materia seca promedio por tratamiento para (*L. graveolens*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.

M. parviflora (palo canizo) tuvo mayor rendimiento de MS en el tratamiento 2 ($p < 0.0001$) en comparación con los demás tratamientos (Figura 10), por lo que la mejor frecuencia de corte fue de 60 días después del inicio del periodo de lluvias con intensidad de defoliación del 100%. Esto sugiere que a 60 días de establecidas las lluvias la planta tuvo la máxima producción de follaje para después disminuir paulatinamente su crecimiento hasta perder sus hojas durante la época de otoño.

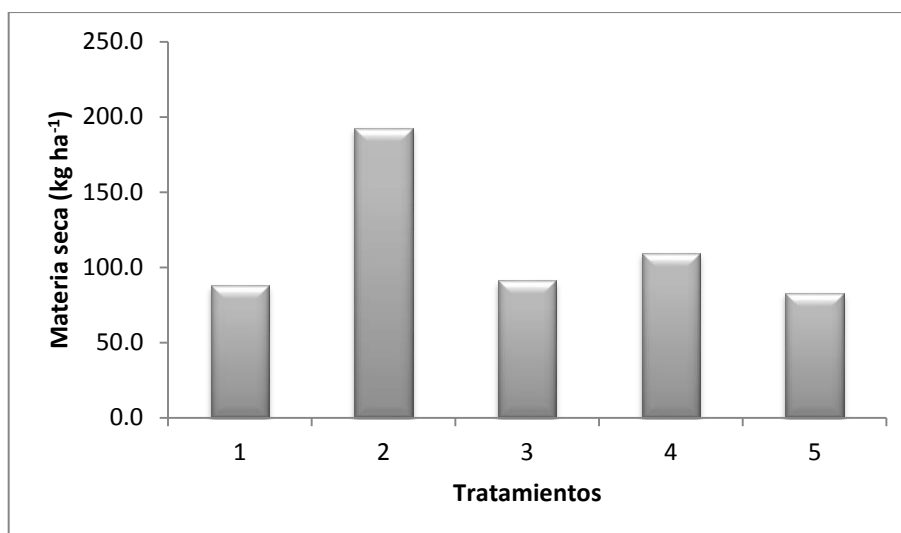


Figura 10. Producción de materia seca por tratamiento para palo canizo (*M. parviflora*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.

Esto demuestra que cada especie arbustiva presenta adaptaciones morfo-fisiológicas, acumulando reservas nutrimentales para el desarrollo de follaje durante la estación lluviosa y desprendiéndose de las hojas durante el otoño para ahorrar energía durante la época de estiaje, manteniendo un estado de baja actividad fisiológica (Passera y Cavagnaro, 2010).

6.3 Características morfológicas de los arbustos

El estudio de las características morfológicas de los arbustos forrajeros es de suma importancia ya que describe las bio-formas y el crecimiento de cada especie arbórea y arbustiva en ecosistemas frágiles; además, el aporte de este conocimiento permite establecer el manejo y uso adecuado del recurso forrajero de los agostaderos para una ganadería sostenible.

Las variables altura de planta, diámetro de copa y número ramas secundarias, mostraron diferencias ($p < 0.0001$) entre los arbustos *A. subangulata*, *L. graveolens* y *M. parviflora*. La sierrecilla (*A. subangulata*) fue el arbusto más alto, con mayor área de copa, pero con menor número de ramas secundarias, en comparación con orégano y palo canizo (Cuadro 5; Figura 11).

Cuadro 5. Características morfológicas de la sierrecilla (*A. subangulata*), orégano (*L. graveolens*) y palo canizo (*M. parviflora*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.

Características morfológicas	Sierrecilla	Orégano	Palo canizo
Altura (cm)	235.6 ^a	83.4 ^b	53.4 ^c
Diámetro de copa (cm)	270.9 ^a	65.6 ^b	61.9 ^b
Número de ramas	1.8 ^c	7.0 ^b	14.7 ^c

Medias con diferente letra por fila son estadísticamente diferentes ($P < 0.0001$).

En otras investigaciones se reportan rangos de altura de la planta de orégano similares con lo observado en el presente estudio: CONAFOR (2009) describe a *L. graveolens* como un arbusto delgado de 70 cm a 2 m de altura; mientras que Sánchez *et al.* (2007) reportan la altura del arbusto en un rango de 45 cm a 1.80 metros, indicando que los tallos se ramifican en su parte superior y tienden a deshojarse en las partes inferiores; estas características morfológicas del orégano coinciden con lo observado en campo. Respecto a las otras dos especies forrajeras no se encontró información previa de sus características morfológicas, de modo que los valores obtenidos sirven son referentes para nuevas investigaciones.



Figura 11. Morfología de *M. parviflora*, *A. subangulata* y *L. graveolens* (izquierda a derecha) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.

6.4 Correlación de producción forrajera con características morfológicas

Las variables dependiente producción de MS fue correlacionada con altura de planta, diámetro de copa y número de ramas. Los coeficientes de correlación revelaron que la altura de la planta ($r=0.6842$) y diámetro de la copa ($r=0.7418$) están asociadas positivamente con el rendimiento de follaje cosechado ($p<0.0001$), pero negativamente con el número de tallos secundarios ($p=0.0007$). Los índices de correlación para producción de MS con altura de la planta y diámetro de copa fueron de $r=0.4766$ y $r=0.5519$ para *A. subangulata* (Figuras 12 y 13); de $r=0.6888$ y $r=0.7997$ para *L. graveolens* (Figuras 14 y 15; y de $r=0.779$ y $r=0.7958$ para *M. parviflora* (16 y 17), respectivamente. Asimismo, las correlación entre producción de MS y número de ramas secundarias fue negativa y baja ($r=-0.2902$) para orégano, positiva y moderada ($r=0.5003$) para sierrecilla y, positiva y baja ($r=0.1417$), para palo canizo.

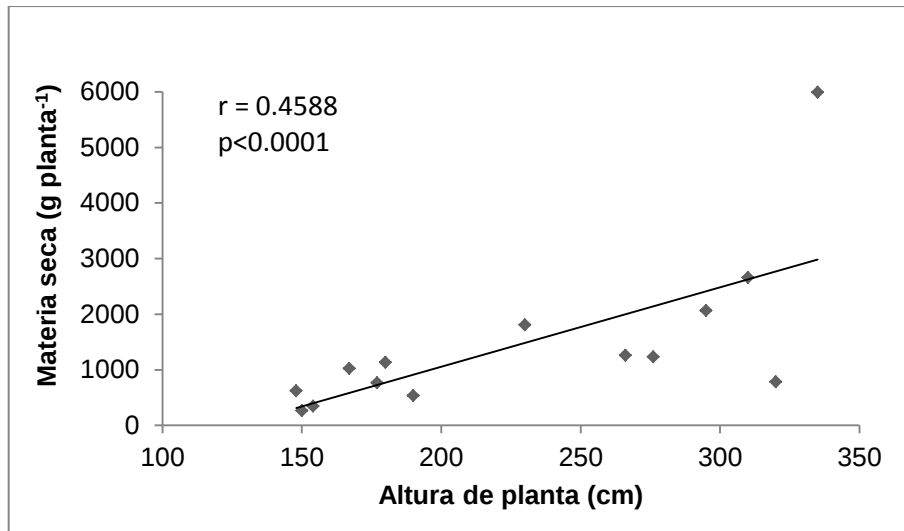


Figura 12. Correlación entre producción de materia seca y altura de la planta para Sierrecilla (*A. subangulata*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.

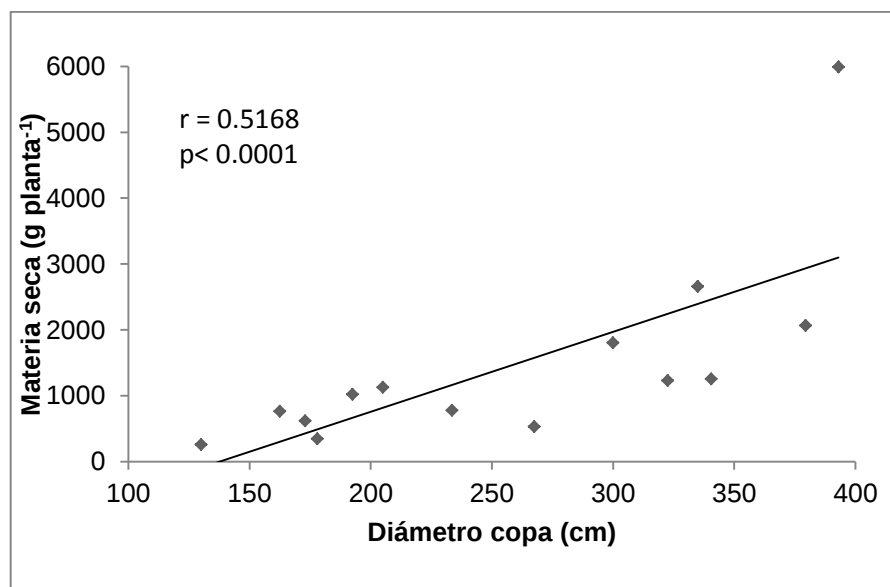


Figura 13. Correlación entre producción de materia seca y diámetro de copa para Sierrecilla (*A. subangulata*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.

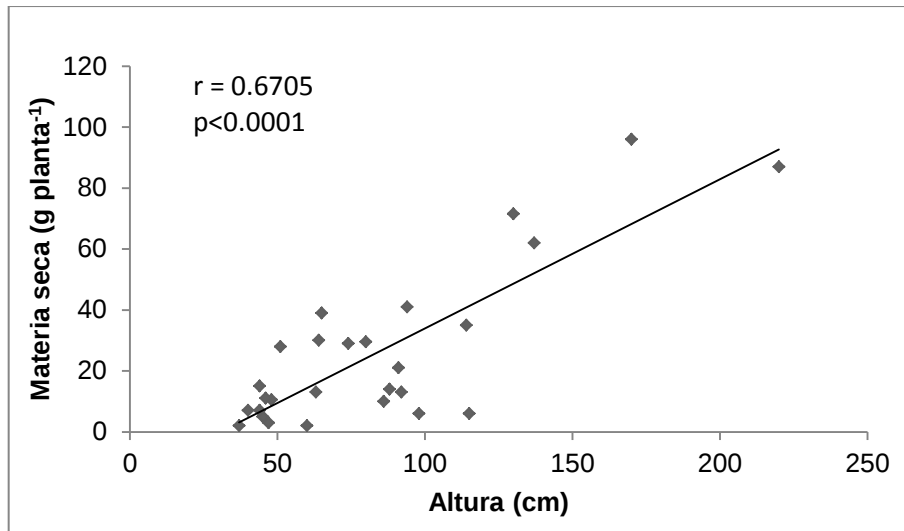


Figura 14. Correlación entre producción de materia seca y altura de la planta para Orégano (*L. graveolens*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, México.

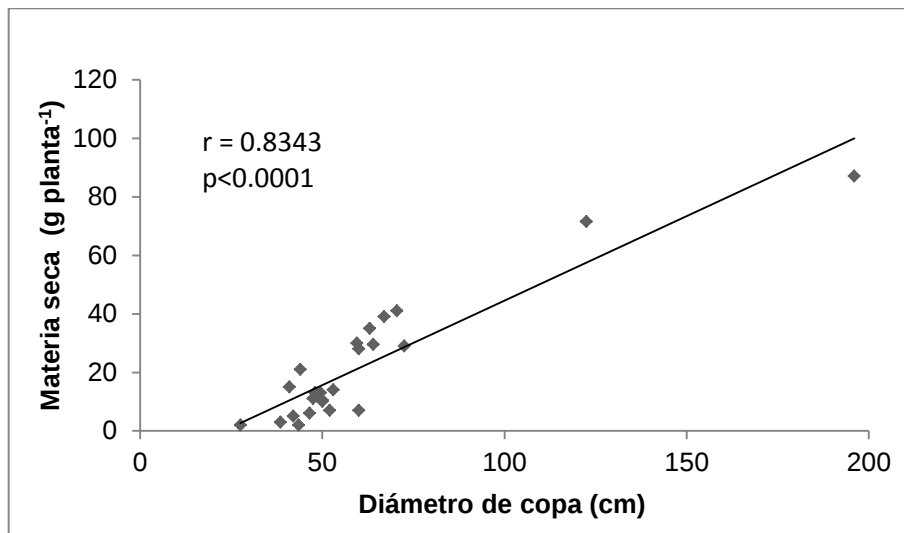


Figura 15. Correlación entre producción de materia seca y diámetro de copa para Orégano (*L. graveolens*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, México.

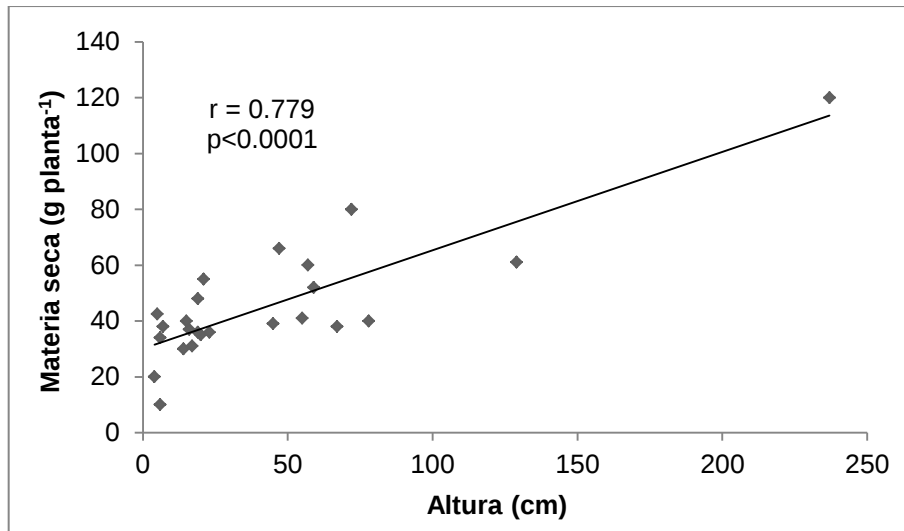


Figura 16. Correlación entre producción de materia seca y altura de la planta para Palo canizo (*M. parviflora*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.

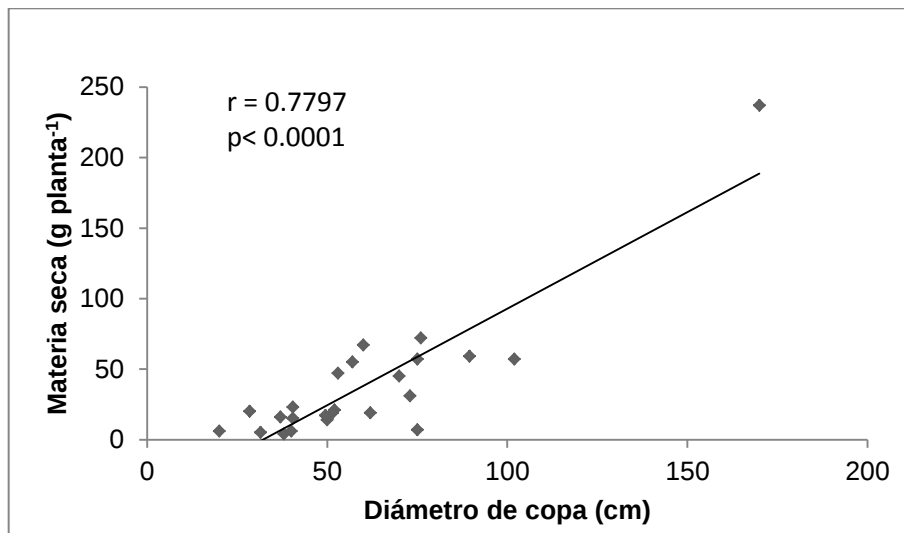


Figura 17. Correlación entre producción de materia seca y diámetro de copa para Palo canizo (*M. parviflora*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.

6.5 Ecuaciones de predicción de biomasa forrajera

Mediante análisis de regresión se estimó el efecto de la altura de la planta (A), diámetro de copa (D) y número de tallos (N) sobre la cantidad de forraje seco disponible (CF). El modelo general empleado utilizó las tres variables morfológicas tuvieron $R^2=0.7954$ mediante el modelo siguiente:

$$CF = 452.74 - 2.43*A - 5.12*D + 0.027*(A*D) - 0.632*(A*N) + 0.007*(A*D*N)$$

Sin embargo, los coeficientes de determinación (R^2) para cada especie arbustiva explicaron del 63 al 67% ($p<0.0001$) de la variabilidad en el rendimiento de forraje relacionada con la altura de la planta, diámetro de copa y número de tallos. Estos resultados son similares a lo obtenidos por Domínguez-Cadena *et al.* (2003), cuando las ecuaciones de predicción de biomasa forrajera para arbustos de zonas áridas tuvieron $R^2=0.70$ utilizando como variables independientes la temperatura, la precipitación, el manejo del ganado y las actividades antropogénicas.

Cuadro 6. Ecuaciones de predicción de materia seca para sierrecilla (*A. subangulata*), orégano (*L. graveolens*) y palo canizo (*M. parviflora*) considerando la altura de la planta, diámetro de copa y número de tallos, en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.

Espece	Ecuación de predicción	R^2	p
Sierrecilla	$CF=-33.74+0.008*(A*D*N)$	0.87	0.0001
Orégano	$CF=-15.31+(0.6097*D)$	0.63	0.0001
Palo canizo	$CF=-36.05+(1.21*D)$	0.63	0.0001

R^2 : coeficiente de determinación; p : probabilidad $\leq 0,0001$.

6.6 Evaluación nutrimental del forraje

6.6.1 Composición química

Hubo efectos de tratamientos ($p < 0.0001$) en los porcentajes de materia orgánica (MO), cenizas (CEN), extracto etéreo (EE), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FCN), fibra detergente ácido (FCA), hemicelulosa (HC) celulosa (CL) y lignina (L). Asimismo, las tres especies presentaron diferencias en el contenido de nutrientes ($p < 0.0001$), lo que significa un beneficio para el ganado caprino ya que los animales pueden seleccionar una diversidad de plantas presentes en el sistema silvopastoril para complementar sus requerimientos nutricionales. Asimismo, estos resultados permiten comprender la importancia nutrimental de las especies asociadas ya que, mientras el follaje de *A. subangulata* aporta mayor cantidad de proteína; *L. graveolens* tiene mayor contenido de aceites y energía, y *M. parviflora* aporta más minerales en forma asimilable para el ganado por su elevado contenido de cenizas.

Cuadro 7. Composición química (%) de la biomasa forrajera de *A. subangulata*, *L. graveolens* y *M. parviflora* en la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla, México.

Especie	MO	CEN	PC	EE	FDN	FDA	HC	CL	L
<i>A. subangulata</i>	92.35 ^a	7.65 ^a	16.55 ^a	2.52 ^a	44.74 ^a	30.58 ^a	14.16 ^a	13.62 ^a	16.96 ^a
<i>L. graveolens</i>	90.59 ^b	9.41 ^b	13.39 ^b	2.85 ^a	41.94 ^b	20.41 ^b	21.53 ^b	9.09 ^b	11.31 ^b
<i>M. parviflora</i>	87.28 ^c	12.72 ^c	13.56 ^b	1.26 ^b	48.87 ^c	30.3 ^a	18.56 ^c	17.02 ^c	13.29 ^c
Nivel de p	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001

Medias con distinta literal dentro de cada columna muestra diferencias ($p < 0.05$); MO: Materia orgánica; CEN: Cenizas; EE: Extracto etéreo; PC: Proteína cruda; FDN: Fibra detergente neutro; FDA: Fibra detergente ácido; HC: Hemicelulosa; CL: Celulosa; L: Lignina.

6.6.2 Materia orgánica y cenizas

El contenido de materia orgánica del follaje comestible fue diferente entre las especies arbustivas estudiadas ($p < 0.0001$; Cuadro 7). Valores similares de MO fueron reportados por González y Cáceres (2012) para arbustos forrajeros cosechados en época de lluvias: Morera (*Morus alba*) (92.1%), *Leucaena leucocephala* CNIA-250 (90.8%) y *Erythrina poeppigiana* (89.8%).

Se observa una tendencia decreciente del contenido de MO para la sierrecilla y palo canizo (Cuadro 8; Figura 18) conforme se incrementó la edad de la planta. Solo el follaje de orégano mantuvo contenidos similares de MO durante todo el periodo de lluvias.

Cuadro 8. Contenido de materia orgánica y edad de la biomasa forrajera de sierrecilla (*A. subangulata*), orégano (*L. graveolens*) y palo canizo (*M. parviflora*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.

Edad del follaje (d)	Sierrecilla		Orégano		Palo canizo		$\bar{x}$
45	93.10±0.65	a A	90.81±0.17	a A	89.64±0.98	b A	91.18
60	92.25±0.50	a A	90.63±0.35	a A	87.98±0.86	ab B	90.29
90	91.95±0.61	a A	90.37±0.30	a A	85.83±0.49	a B	89.38
120	93.13±0.60	a A	90.39±0.32	a AB	87.51±0.75	ab B	90.35
150	90.54±0.95	a A	90.61±0.47	a A	85.06±1.07	a B	88.74
Pr > F	< 0.0001		<0.0001		<0.0001		
$\bar{x}$	92.19		90.56		87.21		

Medias con distinta literal en minúsculas son diferentes para la edad del follaje ($p < 0.0001$); Medias con distinta literal en mayúsculas son diferentes para las especies arbustivas ($P < 0.0001$).

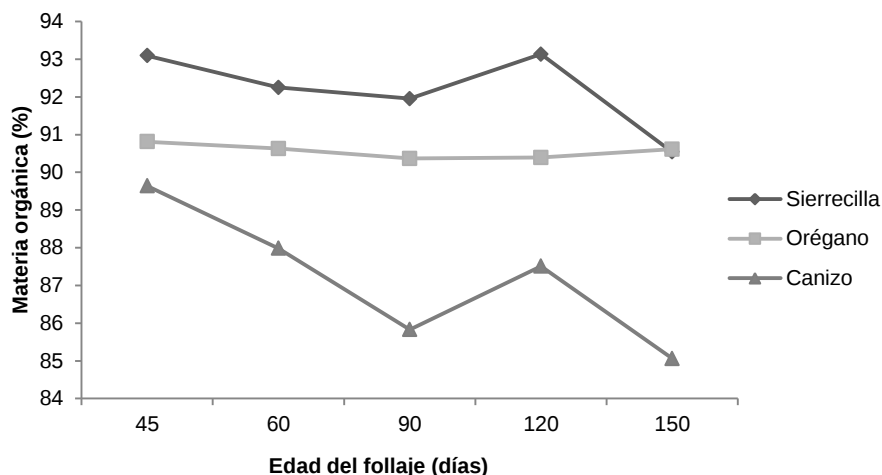


Figura 18. Contenido de materia orgánica y edad de la biomasa forrajera de sierrecilla (*A. subangulata*), orégano (*L. graveolens*) y palo canizo (*M. parviflora*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, México.

Hubo diferencias ($p < 0.0001$) en porcentaje de cenizas (fracción inorgánica) presentes entre las especies arbustivas estudiadas (Cuadro 9; Figura 19). La edad del follaje solo afectó a palo canizo, con aumento del contenido de cenizas al incrementarse la edad del follaje ($P < 0.0001$). Estos resultados son importantes para establecer el aporte de minerales que cada especie arbustiva aporta a la dieta de los caprinos y sientan las base para inferir el nivel de suplementación mineral para el ganado (Bernal, 1994).

Las tres especies arbustivas presentaron contenidos aceptables de minerales, sin embargo, el follaje de palo canizo tuvo mayor contenido mineral en comparación con las otras dos arbustivas forrajeras. Orégano mostró consistencia en el contenido mineral del follaje sin que fuera afectado por la edad del follaje.

.Cuadro 9. Contenido de cenizas de la biomasa forrajera de sierrecilla (*A. subangulata*), orégano (*L. graveolens*) y palo canizo (*M. parviflora*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.

Edad del follaje (d)	Sierrecilla	orégano	Palo canizo	$\bar{x}$
45	6.91±0.65 ^{a A}	9.19±0.17 ^{a A}	10.36±0.98 ^{b A}	8.82
60	7.75±0.50 ^{a A}	9.37±0.35 ^{a AC}	12.02±0.86 ^{ab BC}	9.71
90	8.05±0.61 ^{a A}	9.63±0.30 ^{a A}	14.17±0.49 ^{a B}	10.62
120	6.87±0.60 ^{a A}	9.61±0.32 ^{a AC}	12.49±0.75 ^{ab BC}	9.65
150	9.46±0.95 ^{a A}	9.39±0.47 ^{a A}	14.94±1.07 ^{a B}	11.26
Pr > F	< 0.0001	<0.0001	<0.0001	
$\bar{x}$	7.80	9.44	12.79	

Medias con distinta literal en minúsculas son diferentes para edad del follaje ($p<0.0001$); Medias con distinta literal en mayúsculas son diferentes entre las especies arbustivas ($p<0.0001$).

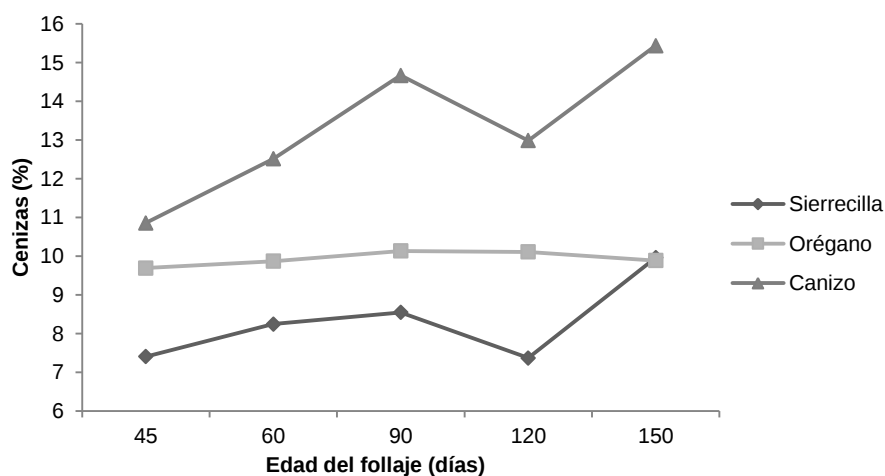


Figura 19. Porcentaje de cenizas de la biomasa forrajera de sierrecilla (*A. subangulata*), orégano (*L. graveolens*) y palo canizo (*M. parviflora*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, México.

6.6.3 Extracto etéreo

El contenido de lípidos (EE) fue diferente ($P < 0.0001$) solo para *M. parviflora*, con porcentajes menores a los de *A. subangulata* y *L. graveolens* (Cuadro 10; Figura 20). Orégano fue la especie arbustiva con mayor contenido de grasa con 0.33 y 1.26 unidades porcentuales por encima de sierrecilla y palo canizo, respectivamente. El orégano tuvo mayor contenido de aceites al incrementarse la edad del follaje, mientras que los valores de extracto etéreo de palo canizo fueron similares durante todo el periodo de muestreo.

Cuadro 10. Contenido de extracto etéreo de la biomasa forrajera de sierrecilla (*A. subangulata*), orégano (*L. graveolens*) y palo canizo (*M. parviflora*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.

Edad del follaje (d)	Sierrecilla		Orégano		Palo canizo		$\bar{x}$
45	3.14±0.88	a A	2.48±0.63	b A	1.19±0.64	a B	2.27
60	2.05±0.63	b B	2.46±0.65	b B	1.28±1.33	a A	1.70
90	2.72±0.66	ab A	3.04±0.99	b A	1.07±0.91	a B	2.27
120	3.22±1.02	a A	3.35±0.73	a A	1.18±0.82	a B	2.25
150	2.18±0.87	b A	3.10±0.71	a B	1.58±0.54	a A	2.55
Pr > F	< 0.0001		< 0.0001		< 0.0001		
$\bar{x}$	2.52		2.85		1.26		

Medias con distinta literal en minúsculas son diferentes para edad del follaje ($p < 0.0001$);
Medias con distinta literal en mayúsculas son diferentes entre las especies arbustivas ($p < 0.0001$).

Valarezo y Ochoa (2014) determinaron extracto etéreo de la *Erythrina peruviana* en cuatro edades de corte y obtuvieron en promedio 2.57%, similar al de la sierrecilla. Estos mismos investigadores obtuvieron un porcentaje de extracto etéreo de 1.2% para *Gliricidia sepium*, cercano al promedio obtenido en el presente estudio para palo.

En orégano Granados-Sánchez *et al.* (2013) reportaron un contenido de extracto etéreo de 4% en promedio, cuando comienzan a crecer los rebrotes y al inicio de la floración, 1.15 unidades porcentuales más a lo encontrado en el presente estudio. Esto puede atribuirse a diferencias entre las acepciones de la especie arbustiva y a la volatilidad de los aceites esenciales (timol y carvacrol) presentes en el follaje de la especie. CONAFOR (2011) en México recomienda orear el follaje cosechado por 12 a 48 horas en un lugar sombreado, donde los rayos de sol no incidan directamente en las hojas, para evitar pérdidas de compuestos lipídicos, entre ellos los aceites esenciales.

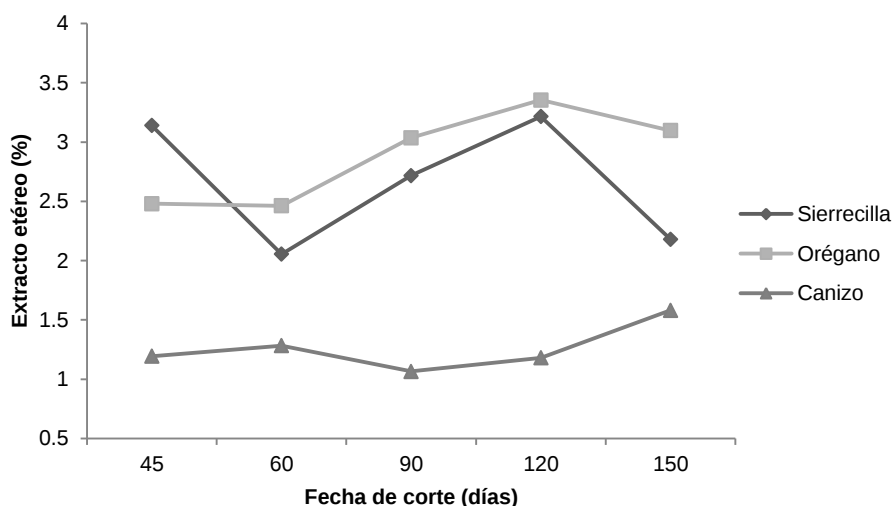


Figura 20. Porcentaje de extracto etéreo de la biomasa forrajera de sierrecilla (*A. subangulata*), orégano (*L. graveolens*) y palo canizo (*M. parviflora*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, México.

6.6.4 Proteína cruda

El contenido de proteína en los forrajes es de gran importancia ya que de este nutriente depende, en buena medida la productividad del hato. En el Cuadro 11 se presentan los porcentajes de proteína cruda (PC) de las tres especies arbustivas seleccionadas. La sierrecilla contiene tres unidades porcentuales más de proteína que el orégano y el palo canizo, con marcada diferencia en el follaje cosechado a 45 días. El follaje de orégano y palo canizo fue consistente en el porcentaje de proteína entre los periodos de corte. Sin embargo, se observa que entre más tempranamente se defolien los arbustos se tiene mayor contenido de proteína en el forraje disponible.

Cuadro 11. Contenido de proteína cruda (%) de la biomasa forrajera de sierrecilla (*A. subangulata*), orégano (*L. graveolens*) y palo canizo (*M. parviflora*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.

Edad del follaje (d)	Sierrecilla	Orégano	Palo canizo	$\bar{x}$
45	19.33±0.90 ^{a A}	15.07±0.54 ^{a B}	13.95±0.22 ^{a B}	16.11
60	16.30±0.40 ^{ac A}	12.91±0.33 ^{a B}	13.40±0.63 ^{a BA}	14.20
90	15.83±0.66 ^{bc A}	13.16±0.54 ^{a AB}	12.67±0.32 ^{a B}	13.89
120	16.57±0.86 ^{ac A}	11.73±0.32 ^{a B}	13.36±0.31 ^{a B}	13.89
150	13.88±0.35 ^{bc A}	13.10±1.03 ^{a A}	15.20±0.65 ^{a A}	14.06
Pr > F	< 0.0001	<0.0001	<0.0001	
$\bar{x}$	16.38	13.19	13.71	13.72

Medias con distinta literal en minúsculas son diferentes para edad del follaje ($p < 0.0001$);
Medias con distinta literal en mayúsculas son diferentes entre las especies arbustivas ($p < 0.0001$).

Investigaciones realizadas en otras especies de acacias forrajeras de zonas áridas, demuestran contenidos de proteína similares a los presentados en el Cuadro 11. Pérez (1997) encontró un promedio de 16.36% de PC de follaje de *Acacia rigidula* cosechado durante el verano. Gutiérrez *et al.* (2014) reportaron el contenido de proteína de *Atriplex canescens* en un rango de 13 a 16%, y recomendaron que el forraje de este arbusto puede usarse como complemento proteico en la alimentación del ganado durante la época de lluvias.

En la Figura 21 se observa que el contenido de proteína de sierrecilla y orégano tiende a disminuir en función de la edad del follaje después de 45 días. Por el contrario, aunque el contenido de proteína del follaje de palo canizo disminuyó entre los 60 y 120 días, a 150 días de cosecha la proteína del follaje se incrementó nuevamente; esto sugiere que la planta puede emitir nuevos rebrotes al final de las lluvias antes de entrar en estado de latencia o reposo.

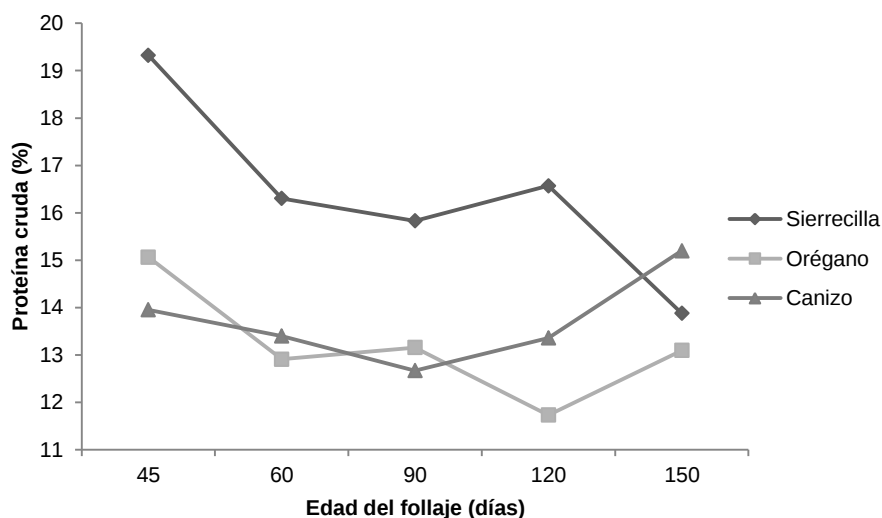


Figura 21. Porcentaje de proteína cruda de la biomasa forrajera de sierrecilla (*A. subangulata*), orégano (*L. graveolens*) y palo canizo (*M. parviflora*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, México.

6.6.5 Fibra detergente neutra y ácida

El contenido de la pared celular, estimado mediante el análisis de FDN, incluye hemicelulosa, celulosa y lignina, carbohidratos estructurales de las plantas que pueden digerirse parcialmente mediante el proceso de degradación ruminal. El Cuadro 12 muestra el contenido de FDN del follaje de los arbustos estudiados, donde en promedio, el palo canizo presentó mayor cantidad de pared celular que la sierrecilla y orégano. En teoría, la acumulación de pared celular se incrementa con la edad de la planta, por lo que el valor de FDN obtenido a los 45 días de iniciado el periodo de lluvias no es congruente; sin embargo, después de las primeras lluvias de junio, en el área de estudio se presentó un periodo seco de aproximadamente un mes, lo cual pudo acelerar el metabolismo de la planta y la acumulación temprana de carbohidratos estructurales en el follaje de los arbustos.

Cuadro 12. Contenido de fibra detergente neutro (FDN,%) de la biomasa forrajera de sierrecilla (*A. subangulata*), orégano (*L. graveolens*) y palo canizo (*M. parviflora*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.

Edad del follaje (d)	Sierrecilla	Orégano	Palo canizo	$\bar{x}$
45	45.47±1.27 ^{a A}	43.38±0.31 ^{a A}	55.36±2.90 ^{a B}	48.07
60	41.95±1.15 ^{a A}	39.7±0.840 ^{a AB}	48.27±0.78 ^{ac AC}	43.31
90	46.04±1.78 ^{a A}	42.47±0.63 ^{a A}	44.77±1.26 ^{bc A}	44.43
120	45.50±1.42 ^{a A}	41.61±1.30 ^{a A}	50.02±2.14 ^{ac A}	45.71
150	45.01±1.42 ^{a A}	42.82±1.16 ^{a A}	44.69±0.96 ^{bc A}	44.18
Pr > F	< 0.0001	< 0.0001	<0.0001	
$\bar{x}$	44.80	42.00	48.62	

Medias con distinta literal en minúsculas son diferentes para edad del follaje ($p < 0.0001$);
Medias con distinta literal en mayúsculas son diferentes entre las especies arbustivas ($p < 0.0001$).

Sin embargo, el porcentaje de FDN solo fue afectado por la edad del follaje ($p < 0.0001$) en el orégano y palo canizo; la sierrecilla mantuvo niveles moderados de FDN durante toda la estación lluviosa. De acuerdo con los datos obtenidos, el menor porcentaje de fibra se tuvo a 60 días de iniciado el periodo de lluvias, por lo que un periodo de descanso de 2 meses puede resultar una buena recomendación para un manejo adecuado del agostadero. Se aprecia (Figura 22) que sierrecilla y orégano siguen similar trayectoria en la acumulación de paredes celulares durante la época de lluvias, caso distinto para palo canizo, el cual resultó menos fibroso a 90 y 120 días de edad del follaje, aunque sin mostrar diferencias estadísticas ($P > 0.0001$).

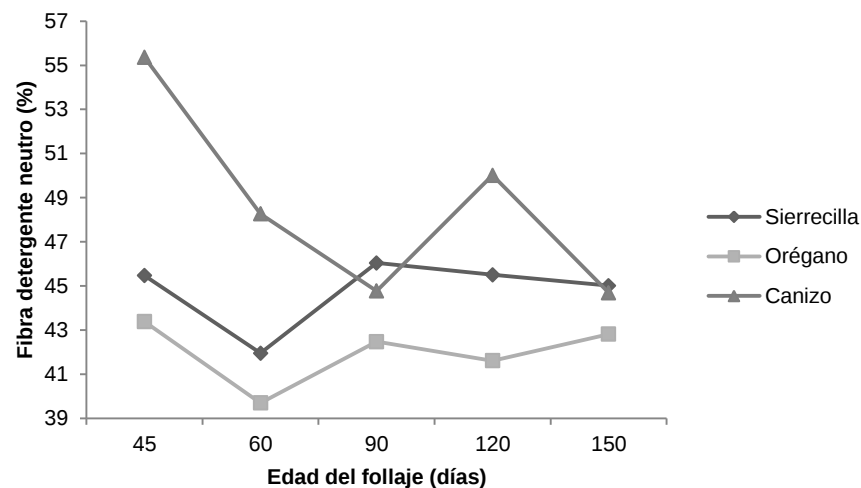


Figura 22. Porcentaje de fibra detergente neutro (FDN) de la biomasa forrajera de sierrecilla (*A. subangulata*), orégano (*L. graveolens*) y palo canizo (*M. parviflora*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, México.

Los componentes celulosa y lignina se cuantificaron mediante el análisis de la fibra detergente ácido (FDA), y los resultados se muestran en el Cuadro 13, donde el porcentaje de FDA fue menor para el orégano que para sierrecilla y palo canizo. Similarmente a lo reportado para FDN, el porcentaje de FDA fue mayor a los 45 días de iniciadas las lluvias pero disminuyó a los 60 días de edad del follaje, para incrementarse sistemáticamente en fechas posteriores Figura 23. Estos resultados (60 a 150 días de edad del follaje) son congruentes a los esperados, ya que, conforme transcurre el tiempo, los tejidos de las plantas se lignifican (Hoffman *et al.*, 2007).

Cuadro 13. Contenido de fibra detergente ácido (FDA) de la biomasa forrajera de sierrecilla, (*A. subangulata*), orégano (*L. graveolens*) y palo canizo (*M. parviflora*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.

Edad de follaje (d)	Sierrecilla		Orégano		Palo canizo		$\bar{x}$
45	33.23±0.97	a A	21.0±0.266	a B	43.59±1.15	a C	32.62
60	22.45±0.99	b A	19.77±0.61	a AB	26.31±0.49	b AC	22.84
90	30.82±1.32	a A	19.93±0.34	a B	23.29±0.54	b B	24.68
120	33.01±0.64	a A	21.07±0.86	a B	26.15±1.31	b B	26.74
150	35.15±0.14	a A	20.43±0.54	a B	34.63±0.43	c A	30.07
Pr > F	< 0.0001		<0.0001		<0.0001		
$\bar{x}$	30.93		20.45		30.79		

Medias con distinta literal en minúsculas son diferentes para edad del follaje ($p<0.0001$);
Medias con distinta literal en mayúsculas son diferentes entre las especies arbustivas ($p<0.0001$).

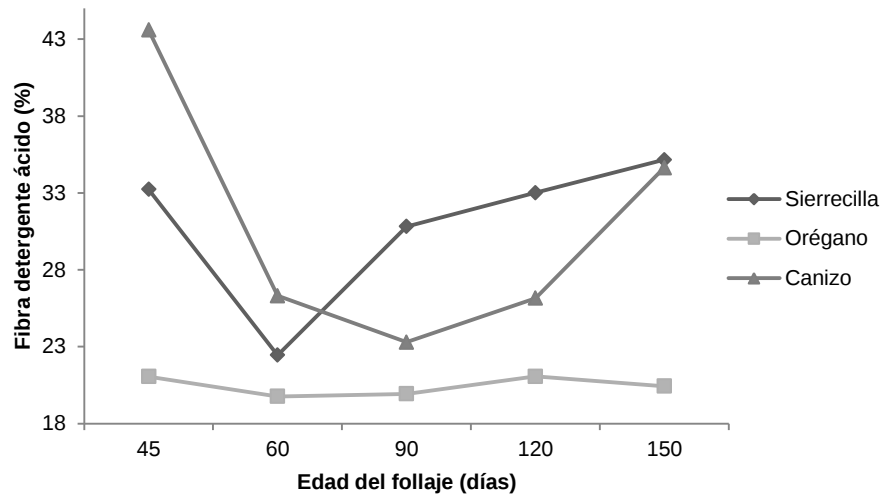


Figura 23. Porcentaje fibra detergente ácido (FDA) en la biomasa forrajera de sierrecilla (*A. subangulata*), orégano (*L. graveolens*) y palo canizo (*M. parviflora*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, México.

6.6.6 Lignina

La determinación de lignina (L) permite estimar la fracción indigestible del forraje. Este componente de la pared celular ejerce un efecto negativo sobre la digestibilidad del forraje ya que impide a los microorganismos del rumen actuar sobre las fracciones digestibles de la fibra (Van Soest, 1968). El arbusto con mayor contenido de lignina fue sierrecilla, seguido de palo canizo y orégano, con 3.39 y 5.73 unidades porcentuales menos, respectivamente (Cuadro 14).

El contenido de lignina en los arbustos fue consistente con lo reportado para FDN. Los mayores porcentajes de L en el forraje de los tres arbustos se tuvieron a 45 y 150 días de edad del follaje, mientras que a 60 días de iniciadas las lluvias se tuvieron los menores porcentajes (Figura 24). Sin embargo, la tendencia del orégano en su contenido de L fue constante durante la temporada de lluvias ($P > 0.0001$).

Cuadro 14. Contenido de lignina (%) de la biomasa forrajera de sierrecilla, (*A. subangulata*), orégano (*L. graveolens*) y palo canizo (*M. parviflora*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.

Edad del follaje (d)	Sierrecilla		Orégano		Palo canizo		$\bar{x}$
45	21.07±0.80	a A	12.08±0.59	a B	19.98±0.66	a A	17.71
60	10.71±0.52	b A	9.63±0.47	a A	10.53±0.40	b A	10.29
90	14.68±1.56	bc A	11.20±0.67	a AB	9.63±0.49	b B	11.84
120	18.65±0.89	ac A	12.04±0.78	a B	9.80±0.30	b B	13.50
150	20.85±0.88	a A	12.33±1.14	a B	19.06±0.67	a A	17.41
Pr > F	< 0.0001		<0.0001		<0.0001		
$\bar{x}$	17.19		11.46		13.80		

Medias con distinta literal en minúsculas son diferentes para edad del follaje ($p<0.0001$);
Medias con distinta literal en mayúsculas son diferentes entre las especies arbustivas ($p<0.0001$).

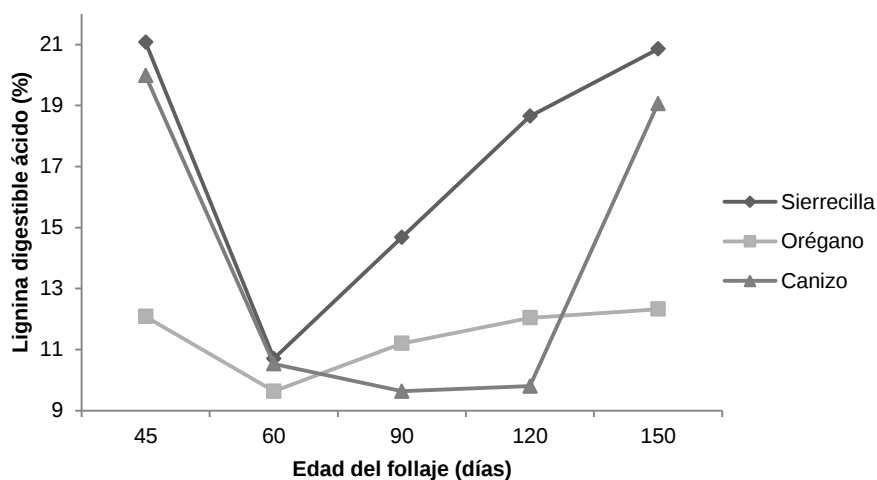


Figura 24. Porcentaje de lignina de la biomasa forrajera de sierrecilla (*A. subangulata*), orégano (*L. graveolens*) y palo canizo (*M. parviflora*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, México.

6.6.7 Hemicelulosa y celulosa

La hemicelulosa (HC) es la fracción de la pared celular que se compone de polisacáridos estructurales no celulósicos pero que se encuentra asociada mediante enlaces covalentes con la celulosa y lignina (Valenciaga y Chongo 2004). El mayor contenido de HC correspondió al arbusto orégano, seguido de palo canizo y sierrecilla (Cuadro 15). Estos resultados son similares a los reportados por Ramírez *et al.* (2002) para el follaje de los arbusto *Acacia rigidula* y *Acacia farnesiana*, con contenido de L de 17.2 y 14.8%, respectivamente.

Cuadro 15. Contenido de hemicelulosa (%) de la biomasa forrajera de sierrecilla (*A. subangulata*), orégano (*L. graveolens*) y palo canizo (*M. parviflora*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.

Edad del follaje (d)	Sierrecilla		Orégano		Palo canizo		$\bar{x}$
45	12.24±1.77	a A	22.32±0.37	a B	11.77±2.10	a A	15.44
60	19.50±0.73	b A	19.94±0.51	a A	21.96±0.38	b A	20.47
90	15.23±1.06	ab A	22.54±0.42	a B	21.49±0.81	b B	19.75
120	12.50±1.49	a A	20.54±0.61	a B	23.86±0.86	b B	18.96
150	9.86±1.41	a A	22.39±0.73	a B	10.06±0.58	a A	14.10
Pr > F	< 0.0001		<0.0001		<0.0001		
$\bar{x}$	13.87		21.54		17.83		

Medias con distinta literal en minúsculas son diferentes para edad del follaje ($p < 0.0001$);
Medias con distinta literal en mayúsculas son diferentes entre las especies arbustivas ($p < 0.0001$).

Los promedios obtenidos para las cinco fechas de cosecha que se observan en el cuadro 15 tienen la característica que el primer valor (15.44) es menor comparado con la siguiente fecha de corte a los 60 días, consecutivamente los datos tendieron a reducirse hasta el día 150 con un valor mínimo.

Las trayectorias del contenido de lignina en el follaje de las tres especies arbustivas durante la estación de lluvias muestran un comportamiento diferente. En el follaje de orégano HC fue similar entre los periodos de corte del forraje fluctuando entre el 22 y 19%, sin diferencias significativa ($P>0.0001$); en palo canizo los valores de HC fueron mayores entre los 60 y 120 días de edad del follaje, pero fueron menores al comienzo y final de la temporada lluviosa; la sierrecilla alcanzo el pico máximo de HC a 60 días de iniciadas las lluvias pero ésta decreció posteriormente (Figura 25).

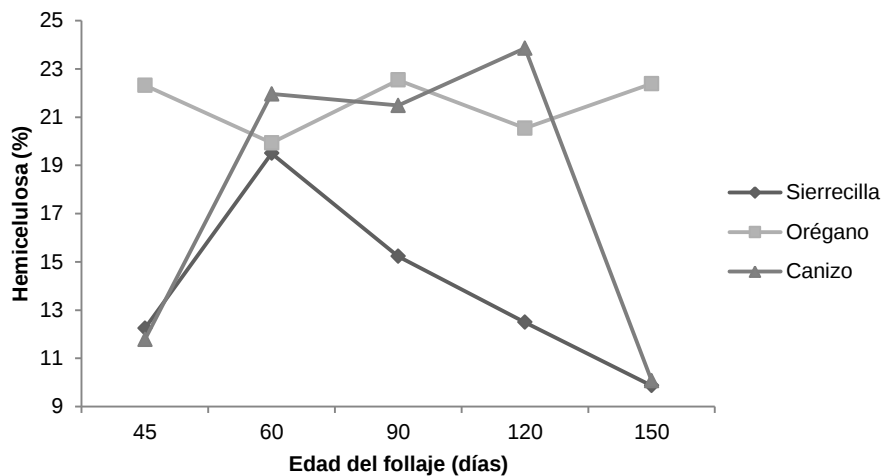


Figura 25. Porcentaje de hemicelulosa de biomasa forrajera de sierrecilla (*A. subangulata*), orégano (*L. graveolens*) y palo canizo (*M. parviflora*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, México.

La celulosa (CL) es un polímero constituido por unidades lineales de glucosa, que están fuertemente unidas por puentes de hidrógeno; es el principal componente estructural de las paredes celulares que proveen la fuerza y rigidez requerida por las plantas (Gardner *et al.*, 1999; tomado de Valenciana y Chongo 2004). Se trata de un material insoluble en agua y solventes ordinarios y solo un 43% de la celulosa puede ser digerida por la microbiota bacteriana a nivel intestinal (Van Soest, 1982). En el Cuadro 16 se presentan los porcentajes de CL contenida en el follaje de los arbustos estudiados. El orégano tiene menor cantidad de compuestos celulíticos, con 4.75 y 8 unidades porcentuales menos que sierrecilla y el palo canizo, respectivamente. Ramírez *et al.* (2002) reportaron porcentajes de celulosa para *Acacia farnesiana* y *Acacia rigidula* de: 9.8 y 17.9%, valores similares a los obtenidos en orégano y palo canizo en los resultados presentes.

Cuadro 16. Contenido de celulosa (%) de la biomasa forrajera de sierrecilla (*A. subangulata*), orégano (*L. graveolens*) y palo canizo (*M. parviflora*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.

Edad del follaje (d)	Sierrecilla		Orégano		Palo canizo		$\bar{x}$
45	12.16±0.91	a A	8.97±0.62	a A	23.60±1.42	a B	14.91
60	11.74±0.99	a A	10.13±0.76	a AB	15.78±0.37	b A	12.55
90	16.14±1.75	a A	8.73±0.63	a BC	13.66±0.63	b A	12.84
120	14.36±0.68	a A	9.03±0.24	a AB	16.36±1.21	b A	13.25
150	14.30±0.83	a A	8.11±0.77	a AB	15.57±0.57	b A	12.66
Pr > F	< 0.0001		<0.0001		<0.0001		
$\bar{x}$	13.74		8.99		16.99		

Medias con distinta literal en minúsculas son diferentes para edad del follaje ($p < 0.0001$);
Medias con distinta literal en mayúsculas son diferentes entre las especies arbustivas ($p < 0.0001$).

No hubo diferencias en el contenido de CL por efecto de la edad del follaje, excepto para palo canizo a 45 días de corte, periodo en el cual se tuvo el mayor contenido de celulosa para esta especie arbustiva. De este modo, el componente mayoritario de las paredes celulares mantuvo constantes sus niveles durante la época de lluvias (Figura 23). Por su parte, el orégano mantuvo el nivel de CL entre 8 y 10% sin diferencias significativas ($P>0.0001$); mientras que la sierrecilla tampoco presentó diferencias ($P>0.0001$), ambos arbustos con tendencia a disminuir el contenido de celulosa a mitad de la temporada lluviosa.

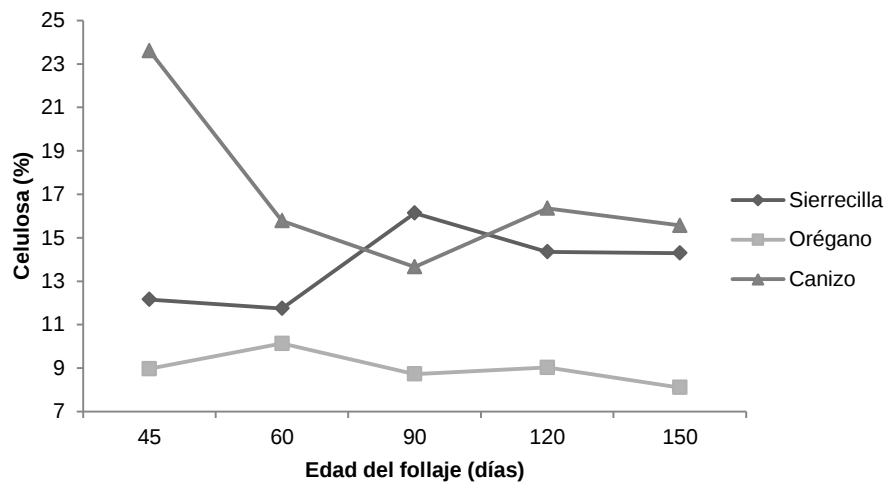


Figura 26. Porcentaje de celulosa de la biomasa forrajera de sierrecilla (*A. subangulata*), orégano (*L. graveolens*) y palo canizo (*M. parviflora*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, México.

6.6.8 Calidad nutrimental de forraje residual de sierrecilla

Diversos autores coinciden en que la remoción del follaje maduro promueve la emergencia de nuevos rebrotes debido a que la defoliación permite la entrada de luz solar a las áreas fotosintéticamente activas de la planta (Díaz, 2007; Steinberg *et al.*, 2012). Durante la época de lluvias, con buena humedad en el suelo alta temperatura se puede ofrecer al ganado un rebrote tierno, de mejor calidad en cuanto al contenido de nutrientes (Díaz, 2007). En el presente estudio sierrecilla presentó hojas y tallos maduros desarrollado durante el periodo de crecimiento inmediato anterior; de este modo, las hojas viejas obtenidas mediante la poda fueron separadas del para el análisis de sus componentes nutrimentales por separado. El follaje remanente de la época de crecimiento anterior se le denomino material viejo y se dividió en dos subgrupos sierrecilla V1 y sierrecilla V2. En el Cuadro 17 se presentan los resultados de la composición química de ambas muestras de forraje (V1 y V2).

Hubo efecto del estado de madurez del follaje en el contenido de cenizas, proteína cruda, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido y celulosa ($P < 0.0001$; Cuadro 17).

El contenido de cenizas fue menor en el forraje maduro debido a que la planta moviliza los nutrientes de las hojas viejas a las nuevas, y a que las hojas viejas reducen la capacidad de utilizar los minerales absorbidos por las raíces de la planta (Fleming, 1973 citado por Spears, 1994). Similarmente, el contenido de proteína fue menor en el follaje viejo que en el nuevo; esto puede explicarse a que la proteína se concentran más en hojas y rebrotes tiernos, por lo que, las

plantas con mayor porcentaje de hojas nuevas tienen mayor porcentaje de proteínas y cenizas (Steinberg *et al.*, 2012).

Cuadro 17. Composición química (% de la MS) de la biomasa forrajera tierna (V1) y madura (V2) de la sierrecilla (*A. subangulata*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.

Especie	MO	CEN	PC	EE	FDN	FDA	LDA	HC	CL
Sierrecilla	92.35 ^a	7.65 ^b	16.55 ^a	2.52 ^a	44.74 ^b	30.58 ^a	16.96 ^a	14.16 ^a	13.62 ^a
Sierrecilla V1	87.34 ^a	12.65 ^a	13.91 ^a	2.28 ^a	39.77 ^a	25.88 ^b	13.57 ^a	13.88 ^a	12.31 ^a
Sierrecilla V2	89.6 ^a	10.39 ^a	12.89 ^b	1.87 ^a	38.81 ^a	19.79 ^c	12.6 ^a	19.02 ^a	7.18 ^b

Medias con distinta literal dentro de columnas muestran diferencias ($p < 0.0001$); MO: Materia orgánica; CEN: Cenizas; EE: Extracto etéreo; PC: Proteína cruda; FCN: Fibra detergente neutro; FCA: Fibra detergente ácido; LDA: Lignina digestible ácida; HC: Hemicelulosa; CL: Celulosa.

En cuanto a las determinaciones de fibras, la hojas de sierrecilla recién desarrolladas tuvieron mayor contenido de FDN, FDA y LC, aunque en FDN los valores fueron no significativos ($P > 0.0001$), teniendo las muestras de forraje maduro (V2) menor cantidad de pared celular.

6.6.9 Calidad nutrimental de la vaina de sierrecilla

Las vainas de las leguminosas tienen gran importancia en la alimentación del ganado debido al alto contenido de nutrientes ya que la floración y fructificación de los árboles y arbustos de clima árido tienen lugar durante la estación seca. Vainas, flores y frutos de las arbóreas son fuente alimenticia para el ganado cuando el forraje verde es escaso. Baraza *et al.* (2008) reportaron que la vaina de la sierrecilla es ampliamente consumida por los caprinos en durante la

estación seca de la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, por ser un alimento rico en proteína.

La recolección de vainas de sierrecilla se realizó al finalizar la época de lluvias, seleccionando los frutos con más de 50% de madurez, y fueron secados a 65°C. La composición química promedio de las vainas de sierrecilla se presenta en el Cuadro 18 como porcentaje de la materia seca total.

Baraza, *et al.* (2008) encontraron porcentajes de proteína en las vainas de sierrecilla de 22 a 27%; mientras que Ruiz *et al.* (2008) reportaron valores de 22.1% y 2.8% para PC Y EE, respectivamente. Estos valores están por encima de los obtenidos en la presente investigación.

En el caso del porcentaje de FDN Ruiz *et al.* (2008) reportaron un promedio de 48.3% para sierrecilla, lo cual difiere en 5 unidades porcentuales a lo presentado en el Cuadro 18. Asimismo, L, HC y CL reportados para las vainas de la sierrecilla fueron 6.8%, 13.3% y 28.1%, respectivamente (Ruiz *et al.*, 2008) son diferentes a los de la presente investigación.

Cuadro 18. Composición química (% de la MS) de las vainas de sierrecilla (*A. subangulata*) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.

Especie	MO	CEN	PC	EE	FCN	FCA	LDA	HC	CL
Sierrecilla	96.34	3.65	14.76	2.45	43.38	35.98	20.36	7.39	15.62

MO: Materia orgánica; CEN: Cenizas; PC: Proteína cruda; EE: Extracto etéreo; FCN: Fibra detergente neutro; FCA: Fibra detergente ácido; LDA: Lignina digestible ácida; HC: Hemicelulosa; CL: Celulosa.

Existen varias investigaciones que analizan la composición nutrimental de las vainas de árboles y arbustos de zonas áridas, siendo el mezquite (*Prosopis spp.*) la arbórea con mayor número de estudios. Rodríguez-Ramírez *et al.*, (2013) reportaron para *Prosopis spp* un porcentaje de cenizas de 4.13%, proteína cruda de 11.83% y FDA de 32.84%. Esto indica que las vainas de sierrecilla proveen un aporte importante de proteína, cenizas, grasas y fibras similares o mejores a los arbustos de mayor importancia forrajera de las zonas áridas y semiáridas de nuestro país.

7. CONCLUSIONES

- El mayor rendimiento de forraje por hectárea durante la época de lluvias correspondió a la especie *L. graveolens*, por lo que el orégano es un arbusto que aporta varios nutrientes al ganado, además de la importancia ecológica, económica y cultural para la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. Para el ganado caprino el orégano consumido proporciona características organolépticas deseables al mercado regional de la carne caprina.
- La máxima producción acumulada de materia seca se obtuvo con frecuencia de corte de 60 días e intensidad de defoliación de 100% para las tres especies arbustivas. De forma conjunta los arbustos que fueron cosechados dos veces durante la estación lluviosa (45 y 90; 60 y 120 días) con intensidad de defoliación de 100%, tuvieron mejor comportamiento productivo y la biomasa fue de mejor calidad forrajera. Sin embargo, para sierrecilla se sugiere una intensidad de defoliación de 50% para evitar riesgos en la sobrevivencia de la especie a mediano plazo.

- Es posible predecir la producción de forraje utilizando información de altura de la planta, diámetro de copa y número de ramas, mediante las ecuaciones de regresión lineal propuestas con confiabilidad de 79.5%.
- Los arbustos forrajeros seleccionados muestran características nutricionales diferentes, sin embargo, el follaje de las tres especies cubren los requerimientos de proteína de las cabras, y el contenido de paredes celulares es moderado. El mayor aporte de proteína lo proporciona la sierrecilla y las vainas de este arbusto pueden complementar los requerimientos de las cabras durante la época de estiaje cuando la disponibilidad de forraje es limitado.

8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar la evaluación de árboles y arbustos forrajeros de la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, y validar los resultados obtenidos en esta investigación.
- Se recomienda realizar el perfil mineral del follaje para complementar la información del potencial forrajero de los arbustos estudiados.
- Se exhorta a realizar la identificación y determinación del contenido de factores anti-nutricionales.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Alados C., L. F. Barroso G. and L. García. 1997. Effects of early season defoliation on above-ground growth of *Anthyllis cytisoides*, a Mediterranean browse species *Journal of Arid Environments* 37:269-283.
- Arbiza A., S. I. 1986. Los caprinos en México. En *Producción de caprinos*. Cap. 2. Editor S. I. Arbiza A., AGT Editor, S. A. México, D.F. p.47-75.
- Armenta- Quintana, J. A. 2004. Importancia de las leguminosas en la dieta de caprinos en un matorral sarcocaulés durante la época de sequía. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California Sur, México.
- AOAC. 1995. Official methods of analysis. 16th ed. AOAC International, Arlington, VA.
- Avalos C., R. 2004. Composición botánica y valor nutritivo de la dieta de cabras en pastoreo en el valle de la matanza. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California Sur, México.
- Baraza E., Ángeles S., García A., y Valiente-Banuet A. 2008. Nuevos recursos naturales como complemento de la dieta de caprinos durante la época seca, en el valle de Tehuacán, México. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, 33(12), 891-896.
- Baraza E. and Valiente-Banuet A. 2008. Seed dispersal by domestic goats in a semiarid thornscrub of México. *Journal of Arid Environment*, 72(10), 1973-1976.
- Barry T., M. 1983. The role of condensed tannins in the nutritional value of *Lotus pedunculatus* for sheep. 3. Rates of body and wool growth. *British J Nut*; 54:211-217.
- Benavides J., E. 1999. Árboles y arbustos forrajeros: una alternativa agroforestal para la ganadería. *FAO ANIMAL PRODUCTION AND HEALTH PAPER*, 449-477.
- Benavides J., E. y D. Pezo 1986. Evaluación del crecimiento y del consumo de materia seca en corderos alimentados con follaje de Poró (*Erythrina poeppigiana*), suplementados con diferentes fuentes de energía. En *Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Resumen de las investigaciones realizadas con rumiantes menores, cabras y ovejas, en el Proyecto de Sistemas de Producción Animal*. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 67. p. 43-47.
- Bernal J. 1994. Valor nutritivo de los forrajes. En: *Pastos y forrajes tropicales: producción y manejo*, 3° edición. Departamento de Publicaciones del Banco Ganadero, Bogotá D.C. pp.89-106.
- Cardel Y., V. Rico-Gray, J. García-Franco G. y L. Thien B. 1997. Ecological status of *Beaucarnea gracilis*, an endemic species of the semiarid Tehuacán Valley, México. *Conservation Biology* 11:367-374.
- Carrera P., S 2014. Plan de manejo sustentable del agostadero del Ejido Santa Ana Teloxtoc, Tehuacán, Puebla. Tesis de licenciatura, Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo México. 87 pag.

- Casas A., Valiente-Banuet A., J. Viveros L., Caballero J., Cortés L., Dávila P. and Rodríguez I. 2001. Plant resources of the Tehuacán-Cuicatlán valley, México. *Economic Botany*, 55(1), 129-166.
- CONANP 2013. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Programa de Manejo Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México, D.F.
- CONAFOR 2009. Comisión Nacional Forestal. Paquetes tecnológicos: *Lippia graveolens* kunth.
- CONAFOR 2011. Comisión Nacional Forestal. Paquete Tecnológico para la producción de orégano *Lippia*, Spp. En línea: <http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/fichas-de-informacion-comercial-productos-forestales.pdf>.
- CONAFOR. 2013. Ordenamiento Territorial Comunitario del Ejido Santa Ana Teloxtoc. Servicio Forestal Zenzontepetl. México.
- Coulloudon B., Eshelmas K., Gianola J., Habich N., Hughes L., Johnson C., Pellant M., Podborny P., Rasmussen A., Robles B., Shaver P., Spehar J., Wiloughby 1999. Sampling vegetation attributes: interagency technical reference. Bureau of Land Management. Denver, Colorado, E.U.A. pp 171.
- Dávila P., J. Villaseñor, R., R. Medina L., A. Ramírez R., A. Salinas T., J. Sánchez K., y P. Tenorio L. 1993. Listados Florísticos de México: 10. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. México, DF: UNAM 195p.-. ISBN, 1093695519.
- Díaz R., O. 2007. Utilización de pastizales naturales. Editorial Brujas.
- Domínguez-Cadena R., Guillén-Trujillo, A., L. de la L., J. y Murillo-Amador, B. 2003. Estimación y disponibilidad forrajera de arbustos en Baja California Sur, México. *Interciencia*, 28(4), 229-233.
- Esparza-Olguín L., T. Valverde and Vilchis-Anaya, E. 2002. Demographic análisis of a rare columnar cactus (*Neobuxbaumia macrocephala*) in the Tehuacán Valley, México. *Biological Conservation* 103:349-359.
- Ezcurra E. y Montaña C. 1990. Los recursos naturales renovables en el norte árido de México. In Ieff (Comp.): Medio Ambiente y desarrollo. Editorial Porrúa. S. A. México D.F. pp 257-296.
- Fadiga M., S. 2014. La Agroforestería en el trópico. Cd de monografías, Universidad de Matanzas Cuba.
- Fang X., W., J. Li, H., Y. Xiong, C., D. Xu, H., X. Fan, W. and F. Li, M. 2008. Responses of *Caragana korshinskii* Kom. to shoot removal: mechanisms underlying regrowth. *Ecological Research* 23:863-871.
- Fang X., W., J. Yuan, L., G. Wang and Z. Zhao, G. 2006. Fruit production of shrub, *Caragana korshinskii*, following above-ground partial shoot removal: mechanisms underlying compensation. *Plant Ecology* 187:213-225.
- Figueroa P., E. 2009. Sistemas agroforestales, [Consulta: noviembre, 2014]. En: <http://agroeco.org/socla/wpcontent/uploads/2013/11/sistemasagroforestales>.
- Fuente H., J. De la A. Garmendia G., M. González H., M. Jiménez E. y E. Mascorro V. 1989. Bonanza y crisis de la ganadería nacional: Una visión integral de la

- actividad agropecuaria en México. Subdirección de Investigación. Departamento de Diagnóstico Externo. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 349 p.
- Galina M., A., D. Puga, C., Hernández, A. and G. Haenlein, F., 1998. Biodiversity and biosustainable production system with goats in Mexico: importance of a forage bank. *Small Ruminant Research* 27: 19-23.
- García V., N. 2012. Aprovechamiento de orégano silvestre (*Lippia spp.*), en la comunidad de Tesila, El Fuerte, Sinaloa. M. C. tesis. Universidad Autónoma Indígena de México.
- Genin D., A. Pijoan, P. 1993. Seasonality of goat diet and plant acceptability in the Lu CD (1988) Grazing behavior and diet selection of goats. *Small Rum. Res.* 1: 205-216.coastal scrubland of Baja California, Mexico. *Small Rum. Res.* 10: 1-11.
- Giraldo A. 1996. Efecto de tres densidades de árboles en el potencial forrajero de un sistema silvopastoril natural. En: *Memorias. Seminario Internacional. Sistemas Silvopastoriles: Casos exitosos y su potencial en Colombia.* Universidad Nacional de Colombia. 773 p.
- Goering H. K. and P. Van Soest, J. 1970. Forage fiber analyses (Apparatus, Reagents, Procedures, and some Applications), *Agric. Handbook No. 77* 379. USDA-ARS, Washington, D.C.
- González E. y Cáceres O. 2012. Valor nutritivo de árboles, arbustos y otras plantas forrajeras para los rumiantes. *Revista Pastos y Forrajes*, 25(1).
- Granados-Sánchez D., Martínez-Salvador, M., López-Ríos, G. F., y Rodríguez-Yam, G. A. 2013. Ecología, aprovechamiento y comercialización del orégano (*Lippia graveolens*) en Mapimí, Durango. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 19(2), 305-322.
- Gutiérrez L. R., V. Velásquez, M.A., I. Velez, A., N. Flores M. J. y T. Rodríguez D. 2014. Producción de caprinos en bancos de proteína de chamizo 4 (*Atriplex canescens*) en Zacatecas, México. *Folleto Técnico No. 58.* Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC-INIFAP. 29 p.
- Hernández J., S., Rodero E., Herrera M., J. Delgado V., Barba C. y Sierra A. 2001. La Caprinocultura en la Mixteca Poblana (México). Descripción e identificación de factores limitantes. *Archivos de zootecnia*, vol 50, núm 189-190 p. 232.
- Hernández M. 1988. Efecto de las podas al final de la época lluviosa en cercos vivos de Piñón Cubano (*Gliricidia sepium*) sobre la producción y calidad nutritiva de la biomasa en la época seca. Tesis M. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 84 p.
- Hoffman P., C., M. Lundberg, K., M. Bauman, L., D. Shaver, R., y Contreras-Govea, F. E. 2007. El efecto de la madurez en la digestibilidad del FCN (fibra detergente neutra). *Focus on Forage*, 5(15), 1-2.
- Huerta C. 1997. Orégano Mexicano: oro vegetal. CONABIO. Biodiversidad 15:8-13. [Http://www.maph49.galeon.com/biodiv2/oregano.html](http://www.maph49.galeon.com/biodiv2/oregano.html) (15-08-2015).
- Huss D. 1993. Papel del ganado doméstico en el control de la desertificación. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

- IBUNAM 2010. Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México UNIBIO: Colecciones Biológicas. 2010. Consultada en: 2015-3-4. Disponible en: <http://unibio.unam.mx/collections/specimens/urn/IBUNAM:MEXU:PVsn4>.
- Ibrahim M., Villanueva, C., Casasola, F. & Rojas, P. 2006. Sistemas silvopastoriles como herramienta para el mejoramiento de la productividad y restauración de la integridad ecológica de paisajes ganaderos. IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible. (CD-ROM).(agregado)
- Iglesias J., M., Funes-Monzote, F., O. Toral, C., Simón, L. y M. Milera. 2011. Diseños agrosilvopastoriles en el contexto del desarrollo de una ganadería sustentable. Apuntes para el conocimiento. Revista Pastos y Forrajes, Vol. 34, No. 3.
- Iglesias J., M., Simón, L., Lamela, L., Hernández, D., Hernández, I., Milera M., Castillo, E. y Sánchez T. 2006. Sistemas agroforestales en Cuba: algunos aspectos de la producción animal. Revista Pastos y Forrajes, Vol. 29, No. 3. p217.
- INEGI 1981. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Tehuacán, Puebla Clave geoestadística 21156.
- INEGI 1984. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Mapa edafológico 1:250000 Puebla INEGI México.
- INEGI 1998. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. La ganadería familiar en México. INEGI-Colegio de Postgraduados, México. Aguascalientes, Ags. 92 pp.
- Jaurena G., y Wawrzkieicz, M. 2011. Programa para el Mejoramiento de la Evaluación de Forrajes y Alimentos (PROMEFA). Archivos Latinoamericanos de Producción Animal, 19, 35-37.
- Lailhacar K., y Torres, C. 2000. Papel de los arbustos forrajeros en la ganadería del secano árido de la zona centro-norte. Publicación Técnico Ganadera, (26).
- Lu C., D. 1988. Grazing behavior and diet selection of goats. Small Ruminant Research. 1(3): 205-216.
- Mahgoub O., T. Kadim, I., E. Forsberg, N., S. Al-Ajmi, D., M. Al-Saqry N., S. Al-Abri A. and Annamalai K. 2005. Evaluation of Meskit (*Prosopis juliflora*) pods as a feed for goat. Anim. Feed Science Technology 121: 319-327.
- Makkar H., P., K. Dawra R. and Singh B. 1991. Tannin levels in leaves of some oak species at different stages of maturity. Journal Science Food Agricultural; 54:513-519.
- Matteucci S., D., y Colma, A. 1997. Agricultura sostenible y ecosistemas áridos y semiáridos de Venezuela. Interciencia, 22(3), 123-130.
- Mellado M., Valdez, R., M. Lara, L. and López, R. 2003. Stocking rate effects on goats: A research observation. Journal of Range Management 56: 167-173.
- Méndez-Larios I., Ortiz, E. y L. Villaseñor, J. 2004. Las Magnoliophytas endémicas de la porción xerofítica de la provincia florística del Valle de Tehuacán-Cuicatlán,

- México. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Botánica 75(1), 87-104.
- Meneses R. 1993. Estimación de la disponibilidad forrajera de praderas arbustivas. Dialogo XXXVIII: metodología de evaluación de pasturas, 45 Pp.
- Molinero H., B. 1983. Técnicas de determinación de biomasa en cinco especies de arbustos. Taller de Arbustos Forrajeros para Zonas Áridas y Semiáridas; Mendoza, Argentina, Vol. 1: 2ª ed.: 17-22.
- Morales A., R., A. Galina, M., Jimenez, S. and G. Haenlein, F. 2000. Improvement of biosustainability of a goat feeding system with key supplementation. Small Ruminant Research 35: 97-105.
- Muñoz C., L. M. 2002. Plantas medicinales españolas *Origanum Vulgare* L. (Lamiaceae) (orégano). Acta Botánica Malacita. 27:273- 280.
- Nair P., K. R. 1989. Classification of agroforestry systems. In: Agroforestry systems in the tropics. (Ed. P. K. R. Nair). Kluwer Academic Press/ICRAF. Dordrecht, The Netherlands, p. 39.
- Nash P. y Michael N. 1984. Flora de Veracruz. Verbenaceae. Instituto Nacional de Investigaciones Sobre Recursos Bióticos. Xalapa, Veracruz. Fascículo 11.
- Osorno S., T., T. Ruiz, A., H. Sandoval, L. y L. Cisneros, R. 2009. Management and extraction of *Lippia graveolens* in the arid lands on Queretaro, Mexico. Economic Botanic 63:314-318.
- Paige K., N. and T. Whitham G. 1987. Overcompensation in response to mammalian herbivory: the advantage of being eaten. American Naturalist 129:407-416.
- Papachristou T., G., and Nastis A., S. 1993. Nutritive value of diet selected by goats grazing on kermes oak scrublands with different shrub and herbage cover in Northern Greece. Small Ruminant Res.12: 35-44.
- Passera C., J. Cavagnaro B. y Sartor C. 2010. Plantas C3, C4 y CAM nativas del monte árido argentino. Adaptaciones y potencial biológico. En: C4 y CAM. Características generales y uso en programas de desarrollo de tierras áridas y semiáridas. Edit. CSIC, Madrid, Spain: 165-176.
- Pérez R., M. 1997. Valor nutricional foliar de tres especies de Acacias. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León México. 96 p.
- Preston T., R. 1995. Tropical Animal Feeding. A manual for research workers. FAO Animal production and health paper No. 126. Roma., 305 p.
- Ramírez R., G. Ramírez, R. y López, F. 2002. Factores estructurales de la pared celular que afectan su digestibilidad. CIENCIA UANL.5:180.
- Ramos G., Frutos P., Giradles, R. Mantecón A. 1998. Los compuestos secundarios de las plantas en la nutrición de los herbívoros, EAE. CSIC. León, España; 598-599.

- Reed J., D., J. Horvath, P., S. Allen, M. and J. Van Soest, P. 1985. Gravimetric determination of soluble phenolics including tannins from leaves by precipitation with trivalent ytterbium. *J Sci Food Agric*;36:255-61.
- Reed J., D., Krueger C., Rodríguez G., and Hanson J. 2000. Secondary plant compounds and forage evaluation. Department of Animal Sciences, University of Wisconsin-Madison, USA Intern Livest Res Inst. Addis Ababa, Ethiopia; 433-448.
- Reséndiz-Melgar R., J. Díaz M., Lemos-Espinal, J. 2005. Forrajeo del ganado caprino en el Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. *Rev. Ciencia Forestal en México*. Vol. 30 Num. 97 enero-junio 2005.
- Ribaski J. y E. Menezes, D. A. 2002. Disponibilidad y calidad del pasto buffel (*Cenchrus ciliaris*) en un sistema silvopastoril con algarrobo (*Prosopis juliflora*) en la región semi-árida Brasileña. *Agroforestería en las Américas*, 9, 33-34.
- Rico M., L. 2001. El género acacia (*Leguminosae*, *Mimosoideae*) en el estado de Oaxaca, México. *Anal. Jardín Bot. Madrid* 58(2): 251- 302.
- Rodríguez-Ramírez MR; González-Sotelo A; Yáñez- Muñoz A; Silva-Luna M; Gómez-Escobar CI. 2013. Composición química de recursos forrajeros para la alimentación de ovinos en Colima, México. INIFAP, CIRPAC. Campo Experimental Tecomán. Folleto técnico No.3 Tecomán, Colima. México.
- Ruiz E., B., S. Campos, Á., Á. Pérez, G., y Valiente-Banuet, A. 2008. Nuevos recursos naturales como complemento de la dieta de caprinos durante la época seca, en el Valle de Tehuacán, México. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, 33(12), 891-896.
- Ruiz E., B. y Estrella-Ruiz, J. P. 2008. Manejo sustentable de los recursos naturales guiado por proyectos científicos en la mixteca poblana mexicana. *Revista Ecosistemas*, 17(2).
- Ruiz M., E. 1983. Avances en la investigación de sistemas silvopastoriles. En: Curso corto intensivo: Prácticas agroforestales con énfasis en la medición y evaluación de parámetros biológicos y socioeconómicos. (L. Babbar, comp.). CATIE. Turrialba (Costa Rica).
- Rooney T., P. y D. Waller, M. 2003. Direct and indirect effects of white-tailed deer in forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 181:165-176.
- Russo M., C. Galletti G., P. Bocchini and A. Carnacini. 1998. Essential oil chemical composition of wild populations of Italian oregano spice (*Origanum vulgare* ssp. *hirtum* (Link) letswaart): A preliminary evaluation of their use in chemotaxonomy by cluster analysis. *Inflorescences. J Agric Food Chem.* 46: 3741-3746.
- Rzedowski J. 1978. *Vegetación de México*. México: Limusa.
- Sánchez O., Medellín, R., Aldama, A., Goettsch, B., Soberón, J. y Tambutti, M. 2007. Métodos de Evaluación de Riesgo de Extinción de las especies silvestres en México (MER). Instituto Nacional de Ecología. México. 173 pág.
- SAS. 2000. SAS 9.1.3 Help and Documentation, Cary, NC: SAS Institute Inc., 2000-2004

- SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001. Protección ambiental– especies nativas de México de flora y fauna silvestres – categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. 6 de marzo de 2002, Segunda Sección. México
- Semmartin M., Di Bella, C., Grimoldi, A. y Oesterheld, M. 1993. Aplicación de la teoría ecológica a la solución de problemas agronómicos. *Ecología Austral* 3:57-66.
- SMN. 2010. Servicio Meteorológico Nacional, México. Estado de Puebla; Estación: 00021083 Tehuacán; Periodo: 1951-2010.Consultada el:27-02-2015. Disponible en: http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75.
- Soriano R., Arias, L., Sánchez, D., y Losada, H. 2006. Metodología multidisciplinaria, investigación-acción y ganadería sustentable. Actas del VII Congreso Latino-Americano de Sociología Rural. Quito, Ecuador.
- Spears J., W. 1994. Minerals in forages. In Forage quality, evaluation and utilization. Editor Fahey, G. C. Am. Soc. of Agronomy, Crop Sc. Soc. of America and Soil Sc. Soc. of America. EEUU. pp. 281-317.
- Standley P., C. 1961. Trees and Shrubs of Mexico. United States National Herbarium. E.U.A.
- Steinberg M., R., H. Valdez, A., J. Coraglio, C., C. Vieyra, A., y P. Minuzzi, A. 2012. Producción y calidad del forraje diferido de *Panicum coloratum* L. en dos periodos de diferimiento y tres momentos de defoliación. *Agriscientia*, 29(1), 25-30.
- Tejada I. 1983. Manual de laboratorio para análisis de ingredientes utilizados en la alimentación animal. Patronato de Apoyo a la Investigación y Experimentación Pecuaria en México, A. C. INIP-SARH. México.
- Trujillo N., E. 2008. Silvopastoreo: árboles y ganado, una alternativa productiva. *Forestal. Revista-MM*, p. 22-29.
- Valenciaga D., y Chongo, B. 2004. La pared celular. Influencia de su naturaleza en la degradación microbiana ruminal de los forrajes.
- Valero J. 2003. Composición botánica, producción de frutos y fenología de las especies leñosas del Bosque Deciduo en el asentamiento campesino Las Peñitas al sur del Estado Aragua. Tesis de grado. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 121p.
- Van Soest P., J. 1982. *Ecología nutricional de los rumiantes*. C.U.P., Ithaca, N.Y.
- Van Soest P., J. 1968. Determinación de humedad de la lignina y celulosa en la fibra detergente ácido con permanganato. *Revista de la asociación química agrícola*, Washington, V 51, p. 780-85.

- Van Soest P., J., J. Robertson, B. and B. Lewis A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3589.
- Valarezo J., y Ochoa, D. 2014. Rendimiento y valoración nutritiva de especies forrajeras arbustivas establecidas en bancos de proteína, en el sur de la Amazonía ecuatoriana. *Comité Editorial*, 3(1), 113.
- Velázquez O., R. 2005. Caracterización de la Biología reproductiva, el establecimiento y crecimiento de *Lippia graveolens* Kunth y la producción de aceites esenciales en poblaciones con o sin manejo. Ph. D. tesis, Facultad de recursos Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- Villaseñor J., L., Dávila, P. y Chiang. F. 1990. Fitogeografía del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* (50), 135-149.